

МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

10011010011011111001100100011000101001110100100011000110101011110100001001001010010011
0100011011000001101101100010100100111010011100110100111010011010101000011101100111001010
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110
11010110000101011110100101001101101010110001011010101101001010011101010101101001101001
10011010011011111001100100011000101001110100100011000110101011110100001001001010010011
0100011011000001101101100010100100111010011100110100111010011010101000011101100111001010
1100101111000100110000110110111011010001001101001110010001010010101000110101110100001
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110
11010110000101011110100101001101101010110001011010001100001010011101010001101001101001

№ 4 (26) т.2 2014

Северное ПКБ
Патрульный корабль



01000110110000011011011000101001001110100111001101001110100110101000011101100111001010
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110
110101100001010111101001010011011010101100010110101011010010100111010101 101001
10011010011011111001100100011000101001110100101011000110101011110101101 1010
010001101100000110110110001010010011101001110011101001110100110101000010 011





МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал № 4 (26) Т.2 2014 www.morintex.ru

Тематика: кораблестроение, информатика, вычислительная техника и управление

Главный редактор:

Н.В. Никитин, д.т.н., профессор

Редакционный Совет

Сопредседатели

И.Г. Захаров, вице-президент ОАО "Объединенная судостроительная корпорация"

Е.М. Апполонов, Ректор СПбГМТУ

Члены Совета

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

М.И. Вайнерман генеральный директор ЦКБ "ЛАЗУРИТ"

В.А. Василенко, генеральный директор НИТИ им.

А.П. Александрова

А.И. Гайкович генеральный директор НИЦ "МОРИНТЕХ"

Г.Н. Муру, генеральный директор 51 ЦКТИ судоремонта

К.В. Рождественский, проректор по международному сотрудничеству СПбГМТУ

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

В.Н. Тряскин, проректор СПбГМТУ по учебной работе

А.К. Филимонов, проректор СПбГМТУ по научной работе

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

Редакционная коллегия

Заместители главного редактора

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

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

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

Члены Редколлегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Б.А. Царев д.т.н. профессор Санкт-Петербургский государственный морской технический университет.

Периодичность издания — 4 номера в год

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) <http://vak.ed.gov.ru>

Рукописи представляются в редакцию в электронном виде (на диске или по электронной почте:

mit-journal@mail.ru)

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

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-32382 от 09.06.2008

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

ISSN 2073-7173

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

Телефон/факс +7 (812) 513-04-51

e-mail: mit-journal@mail.ru

Ответственность за содержание информационных и рекламных материалов, а также за использование сведений, не подлежащих публикации в открытой печати, несут авторы и рекламодатели.

Перепечатка допускается только с разрешения редакции

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

Редакционная этика научного журнала

«МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Редакционная деятельность научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

опирается, в частности, на рекомендации Комитета по этике научных публикаций (Committee of Publication Ethics), а также на ценный опыт авторитетных международных журналов и издательств.

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

Напечатано в центре полиграфии НИЦ «МОРИНТЕХ»

Верстка: Н.Н. Скориантова

Дизайн: А.В. Антонов



MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES

Scientific journal № 4 (26) V.2 2014 www.morintex.ru

Subject: shipbuilding, compute science, computer engineering and management

Chief Editor:

N. V. Nikitin, Doctor of Engineering, Professor

Editorial Board

Co-chairmen

I.G. Zakharov, Vice-President JSC United Shipbuilding Corporation

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

Council Members

A.V. Arkhipov, Head Research Institute of Shipbuilding and armaments of the Ministry of Defence of Russia

M.I. Vajnerman, General Director ZKB Lasurit

V.A. Vasilenko, General Director NITI im.

A.P. Aleksandrova

A.I. Gajkovich, General Director Research Centre Marine Intelligent Technologies

G.N. Muru, General Director 51 CCIS, K.V. Rozhdestvenskij, Vice-Rector for International Science & Education Saint-Petersburg State Marine Technical University

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

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

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

A.V. Shlyakhtenko, General Director-General Designer ZMKB Almaz

Editorial Staff

Deputy Chief Editors

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

A. I. Frumen, Candidate of Science, Professor St. Petersburg State Marine Technical University

P. A. Shaub, Doctor of Engineering, Professor Institute of Shipbuilding and armaments of the Ministry of Defence of Russia

Members of Editorial Staff

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

A. E. Bogdanov, Candidate of Science, Control Systems JSC

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

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

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

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

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

V. V. Rodionov, Candidate of Science, Senior Research Scientist Sea Project

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

O. V. Tretyakov, Doctor of Engineering, Associated Professor — Institute of Shipbuilding and armaments of the Ministry of Defence of Russia

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

B. A. Tsaryov, Doctor of Engineering, Professor St. Petersburg State Marine Technical University

Publication frequency — 4 issues per year

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

Manuscripts are to be submitted to the editorial office in electronic form (on CD or via E-mail

mit-journal@mail.ru

Founder-Publisher: JSC Research Centre Marine Intelligent Technologies

Registration Certificate ПИ № ФС77-32382 от 09.06.2008

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

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

e-mail: mit-journal@mail.ru

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

Printed in the Printing-House 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 staff.

Opinions 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 the practices of influential international journals and publishers.

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

Page-proofs: N.N. Skoriantova

Design: A.V. Antonov

СОДЕРЖАНИЕ

Проектирование кораблей и судов

Шарапов Ю. К. Анализ технического состояния гражданского флота России	6
Лвин Мин Кхант Сравнение эффективности скоростных катамаранов и других видов транспорта	12
Артюшина Т. Г., Гайкович А. И., Никитин Н. В. Многоуровневая оптимизация методом сканирования пространства параметров на начальных стадиях проектирования судна	17

Теория корабля и строительная механика

Бураковский П. Е., Нечаев Ю. И. Практическая реализация графоаналитической системы контроля эксплуатационной прочности промысловых судов при коррозии корпуса, швартовых операциях и восприятии многократных нагрузок на основе современной теории катастроф	24
Калмыков А. Н., Сеньков А. П., Кузнецов В. И., Пресняков А.И. А. Судовая единая электроэнергетическая система без согласующих трансформаторов в цепи питания гребных электродвигателей	32
Борисов Р. В., Вирцев Д. А., Лузянин А. А., Сидоров К. А. Экспериментальное исследование влияния динамической ватерлинии на остойчивость эскортных буксиров	37

Судовые энергетические установки

Жиленков А. А., Черный С. Г. Моделирование и разработка устройства диагностирования параметров нестационарных гармоник сетевых токов и напряжений автономной электроэнергетической системы в режиме реального времени	44
Серажутдинов О. В., Чистяков В. А. Снижение токсичности отработавших газов судовых дизелей за счет добавки сжатого воздуха в топливо	51

Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства

Богданов А. Е. Количественная оценка уровня функционирования организационной структуры производственного комплекса при создании технически сложных систем морской техники на их полном жизненном цикле	56
---	----

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Зубова А. А. Моделирование гидродинамического взаимодействия судов на основе методов вычислительной гидродинамики	61
Жестков К. Г., Ткаченко И. В., Чепурко С. И. Формирование облика подводного средства движения специального назначения на основе трехмерного моделирования	67
Елизарова Т. Г., Сабурин Д. С., Ткаченко И. В., Тряскин Н. В. Численное моделирование колебаний жидкости в топливных баках	74
Никущенко Д. В., Мялкин Р. А. Моделирование кавитационного обтекания крыла на основе методов вычислительной гидродинамики	84

CONTENTS

Designing of ships and vessels

Sharapov Yu. K. Evaluation of technical conditions of civil vessels of Russia	6
Lwin Min Khant Department Of Ship Design State Marine Technical University Of Saint-Petersburg	12
Artjushina T. G., Gajkovich A. I., Nikitin N. V. Multilevel optimization methods to scan the parameter space at the initial ship design stage	17

Theory of the ship and structural mechanics

Burakovskiy Pavel E., Nechaev Yu. I. Practical realization of graphic-analytical control system for operational strength of fishing vessels at hull corrosion, mooring operations and taking multiple loads on the basis of modern catastrophe theory	24
Kalmykov A. N., Sen'kov A. P., Kuznetsov V. I., Presnyakov A. A. Ship unified electrical power system without matching transformers in the supply of electric propeller	32
Borisov R. V., Virtsev D. A., Luzyanin A. A., Sidorov K. A. Experimental study of the influence of the dynamic waterline on the stability of the escort tugs.....	37

Ship power plants

Zhilentov A. A., Chernyi S. I. G. Modeling and diagnosing device parameters nonstationary harmonic currents and voltages network of autonomous power system in real time	44
Serazhutdinov O. V., Chistyakov V. A. Reduction in toxicity of the fulfilled gases of the ship diesel engines due to the additives of the compressed air in the fuel	51

Technology of shipbuilding, ship repair and shipbuilding business

Bogdanov A. E. Quantitative assessment of level of functioning organizational structure of industrial complex at creation of technically difficult system of sea equipment on its full life cycle	56
--	----

Mathematical modeling, numerical methods and complexes of programs

Zubova A. A. Numerical modelling of the ship to ship interaction with the use of computational fluid dynamics methods	61
Zhestkov K. G., Tkachenko I. V., Chepurko S. I. The concept developing of the special application underwater vehicle based on 3D modeling	67
Elizarova T. G., Saburin D. S., Tkachenko I. V., Tryaskin N. V. Numerical modeling of liquid fluctuations in fuel tanks	74
Nikushchenko D. V., Mialkin R. A. Numerical simulation of the cavitation flow around the wing with the use of computational fluid dynamics methods	84

О ЖУРНАЛЕ

Главное

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

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

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

В журнале обязательно рецензирование статей ведущими специалистами по профилю статьи.

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

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

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

Тематика

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

Основные направления

- Интеллектуальные технологии в проектировании кораблей и судов, компьютеризация процессов проектирования (управление и организация проектирования, системы автоматизированного проектирования). Морская история и техника.
- Интеллектуальные технологии в строительстве и ремонте кораблей и судов (перспективные технологии в строительстве и ремонте судов, автоматизированные системы подготовки производства, использование роботов).
- Интеллектуальные технологии в эксплуатации кораблей и судов (системы автоматизации кораблей и судов, автоматизированные системы управления, проблемы судовой эргономики, экология).
- Интеллектуальные технологии в прикладных исследованиях (математическое моделирование и компьютерный эксперимент, строительная механика, гидроаэродинамика, термодинамика, физические поля корабля).
- Интеллектуальные технологии в морской и судовой энергетике. Энергосберегающие технологии.
- Интеллектуальные технологии морского приборостроения.
- Искусственный интеллект в морских технологиях.
- Интеллектуальные технологии в маркетинговых исследованиях.
- Экономика и финансы в судостроении
- Кораблестроительное образование

Проектирование кораблей и судов

УДК 629.12

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРАЖДАНСКОГО ФЛОТА РОССИИ

Шарапов Юрий Константинович, инженер, аспирант кафедры Кораблестроения и океанотехники; менеджер проекта
Дальневосточный федеральный университет, инженерная школа;
ОАО «Дальневосточный центр судостроения и судоремонта»
Владивосток, Россия
E-mail: yksh@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В статье проведен анализ технического состояния судов гражданского флота России по состоянию на ноябрь 2014г. Главной задачей является оценка качественного, количественного и возрастного состава судов гражданского флота России (далее флота). В рамках подготовки статьи на основании данных регистрационной книги Российского регистра, сформирована база судов являющихся предметом исследования. В статье приведены аналитические данные о среднем возрасте судов гражданского флота, определены основные типы судов, рассмотрена динамика сдачи судов в периоды 1960-2014гг. Отдельно рассмотрена динамика сдачи судов за последние 10 лет. Выполнено сравнение количества судов построенных на предприятиях СССР/РФ с общим числом судов введенных в эксплуатацию гражданского флота России. Статья позволяет оценить общее развитие судостроительной отрасли и состояние экономики в России. В заключении указываются меры принимаемые правительством России для улучшения сложившейся ситуации. Высказывается мнение о возможных мерах для повышения компетенций России в судостроительной и судоремонтной отраслях.

Ключевые слова: техническое состояние флота, гражданские суда, средний возраст судов гражданского флота России.

EVALUATION OF TECHNICAL CONDITIONS OF CIVIL VESSELS OF RUSSIA

Sharapov Yuri K., Engineer, post graduate student of "Shipbuilding and Ocean technics";
Project manager
Far eastern federal university (FEFU), engineering school;
JSC «Far eastern shipbuilding and ship repair center»
Vladivostok, Russia
E-mail: yksh@mail.ru

ABSTRACTS

This work was carried out in preparation for the author's PhD thesis «Theoretical foundations of method of determining of vessels weight and coordinates of its centre of gravity by using of inflatable tanks», for evaluate the technical condition of the Russia civilian fleet. The data presented in the paper allow estimating the current technical condition of civilian fleet and its qualitative and quantitative composition. This paper allows evaluating the condition of the shipbuilding industry in Russia. Also, this paper allows determining the overall dynamics of delivery of new vessels, as well as considering the dynamics of passing vessels of the main types. In this article conducted researches on issues marked. Article allows evaluating the current situation in the Russian shipbuilding. The article includes nine illustration for visual presentation of information. At the end of article, the author makes conclusions about the current condition Russian civilian fleet, as well as the solutions by which possible to overcome the current situation.

Key words: civilian fleet technical condition, civil vessels, the average age of the civilian fleet of Russia.

Введение

Техническое состояние судов гражданского флота страны характеризует уровень развития многих сфер государства. Качественный состав позволяет определить основные направления экономики и деятельности страны, в то время как возрастной состав флота показывает уровень

развития экономики в целом. Суда являются уникальной базой для внедрения новых технологий, как при постройке, так и в эксплуатации. Обновление флота является важной задачей для судовладельцев и государства в целом. Для проведения анализа флота была сформирована база судов входящих в состав гражданского флота России (далее База). База формировалась на основании данных электронной версии регистрационной книги Российского регистра (далее - РС).

Электронная версия регистрационной книги Российского регистра содержит сведения о морских самоходных судах валовой вместимостью 100 и более, имеющих класс Российского морского регистра судоходства. Она

так же включает в себя все изменения и дополнения, произошедшие после издания Регистрационной книги в твердой копии. Информация, опубликованная в электронном издании Регистрационной книги, получена из источников, которые могут считаться достоверными. Формирование базы проводилось в период с 24.09.2014г. по 06.11.2014г.

1. Анализ возрастного состава судов гражданского флота России

Первоочередной задачей при выполнении работы, было определение возрастного состава судов флота. База содержит данные о 2741 судне 22 различных категорий. На рис.1 приведена диаграмма возрастов судов гражданского флота России. Как видно из диаграммы, средний возраст судов $T_{cp} = 26$ лет, что превышает нормативный срок службы, равный согласно правилам РС $T = 24$ года.

Нормативный срок службы является одним из основных параметров, учитываемых при проектировании судна, который влияет на весовые и прочностные характеристики корпусных конструкций судна. В отдельных случаях, он может быть изменен по согласованию с РС. Однако подобные отступления допускаются в особых случаях, например при проектировании уникальной морской техники. Анализ возрастного состава судов входящих в состав гражданского флота России иллюстрируется рис.2 на котором представлена диаграмма распределения судов по возрасту. Особый интерес представляют суда, возраст которых составляет от 20 до 24 лет.

В текущем году, 130 судов достигли возраста равного нормативному сроку службы. В течении следующих 4 лет, еще 344 судна достигнут возраста 24 лет. Таким образом, за пять лет, начиная с текущего года, число судов возраст которых

превысит нормативный срок службы, увеличится на 474 судна, что составляет 17% от общего количества судов в составе флота.

Рассмотрим подробнее динамику сдачи судов за период 1960 – 2014гг.

На рис.3 представлена диаграмма динамики сдачи судов. Показано так же соотношение общего количества сданных судов и количества судов сданных на судостроительных предприятиях СССР и России. Видно, что большая часть судов, входящих в состав флота была построена в период с 1970г по 1999г. При этом около половины судов, сдаваемых за все рассматриваемые периоды, строилось на зарубежных предприятиях. Начиная с 1990 года, количество сдаваемых судов постоянно сокращалось. Причем количество судов, сданных в периоды 2000–2009гг и 2010–2014гг, более чем в два раза меньше количества судов принятых в эксплуатацию в 1990–1999гг. Это можно объяснить тем, что во-первых после распада СССР многие крупные верфи оказались вне состава России, во вторых сыграли свою роль события 1997г и 2008г. Однако, в периоды 2000–2009гг и 2010–2014гг, происходит небольшое увеличение количества судов.

Суда, входящие в состав флота нашей страны, строились на судостроительных предприятиях 47 стран. На рис.4 приведена диаграмма, включающая 13 стран, каждая из которых построила для СССР - РФ более 2% от общего числа судов входящих в состав флота России, с указанием числа построенных судов. На долю остальных 34 стран приходится менее 1% от общего числа судов.

Суда указанных восьми типов в сумме составляют 2544 единицы, что составляет 92,7% от состава флота России. Наиболее многочисленной группой судов являются рыболовные суда, общей численностью 841 судно, что составляет 30,6% от общего количества судов.

2. Анализ качественного состава судов гражданского флота России

В состав гражданского флота России, входят 22 группы судов, общей численностью 2741 единица. Основную часть флота составляют суда восьми основных типов: рыболовные суда, суда для генерального груза, наливные суда, буксиры, рефрижераторные, научно исследовательские, пассажирские суда и ледоколы. На рис.5 приведена диаграмма качественного состава гражданского флота России.

Возрастной состав судов основных восьми типов характеризуется диаграммой возрастов представленной на рис.6.

Видно, что большая часть судов флота России имеет возраст, превышающий нормативный срок службы. Исключением являются наливные суда, средний возраст которых $T = 22$ года.

Как было сказано выше, в течении пяти лет, 474 судно превысит нормативный срок службы.

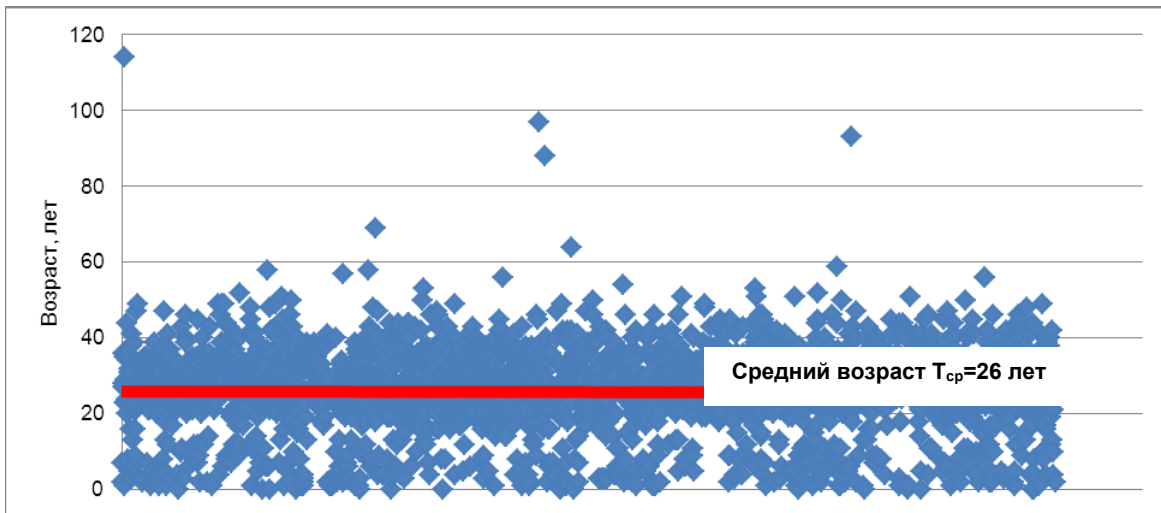


Рис.1. Возрастной состав судов гражданского флота России

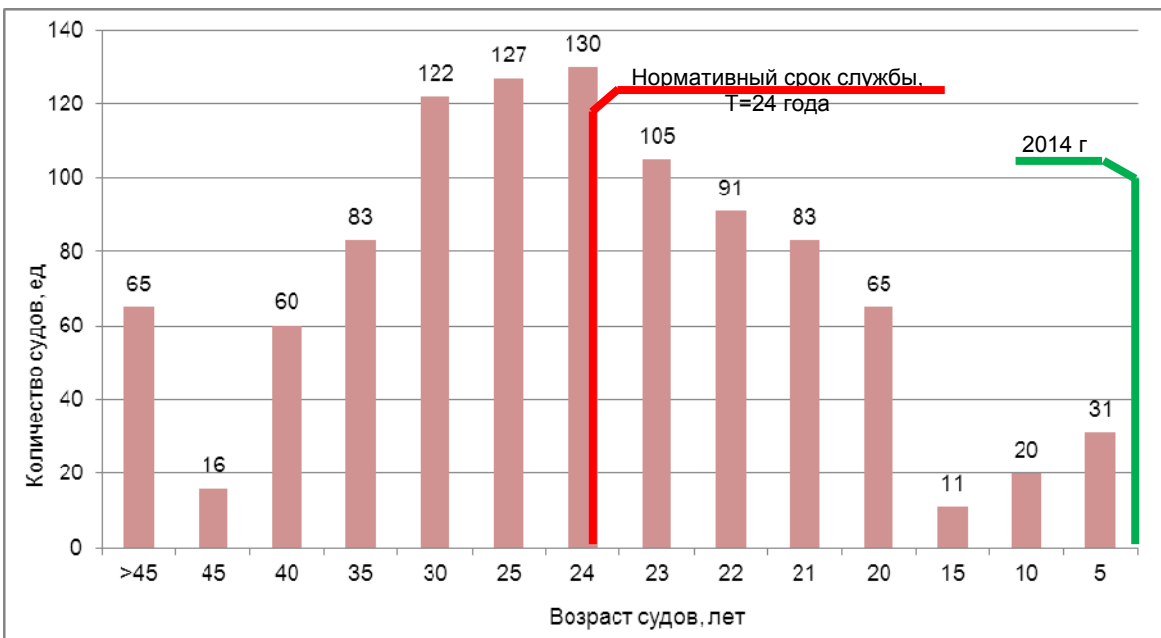


Рис.2. Анализ возрастного состава судов гражданского флота России

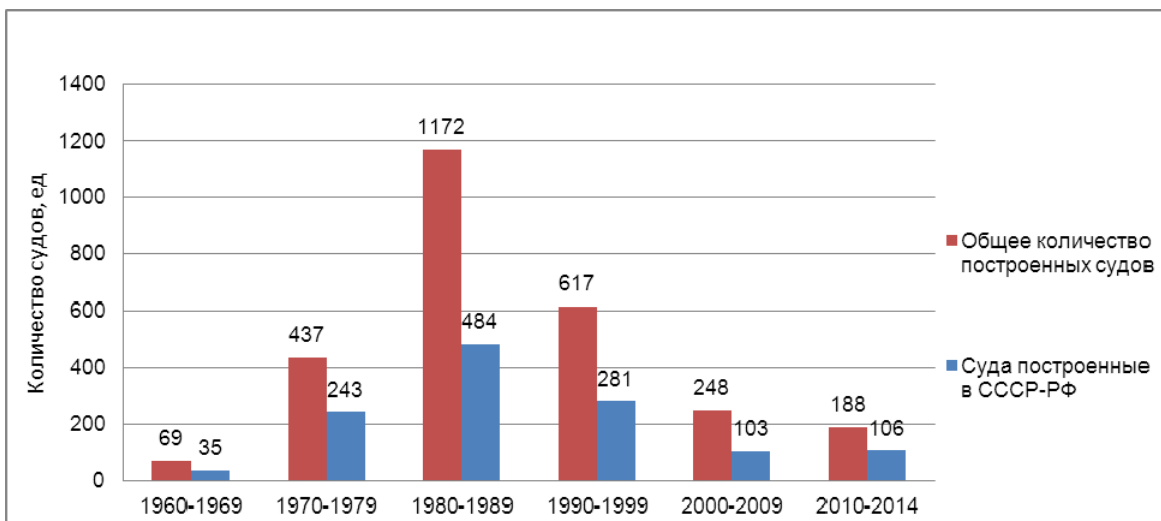


Рис.3. Динамика сдачи судов гражданского флота России

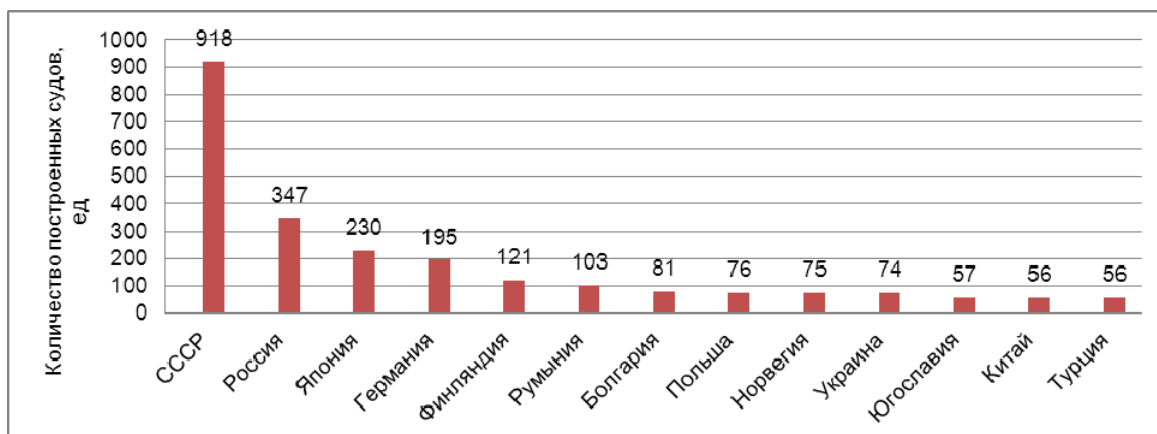


Рис.4. Разбивка по странам строившим суда для России

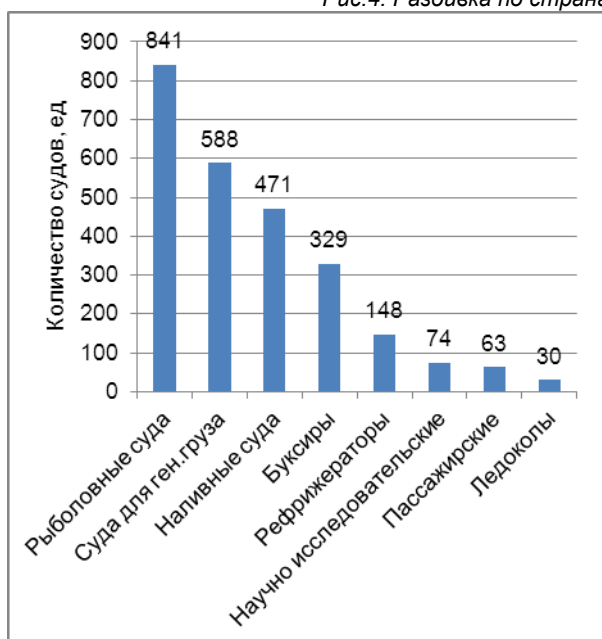


Рис.5. Качественный состав гражданского флота России

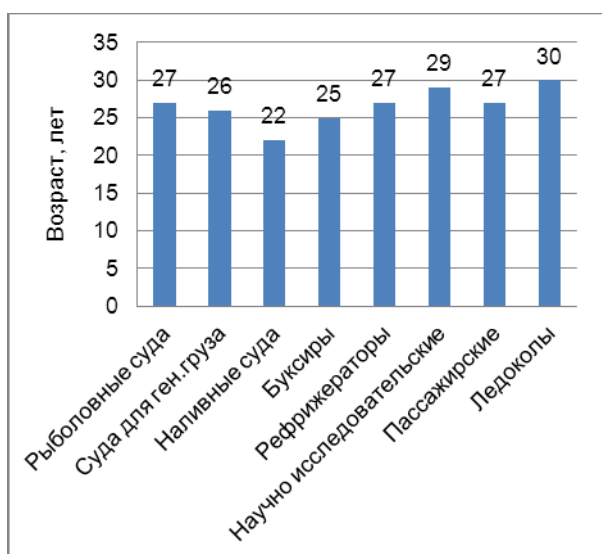


Рис.6. Возраст судов основных типов входящих в состав гражданского флота России

На рис.7 представлена диаграмма показывающая какое количество судов основных типов превысит нормативный срок службы в течении пяти лет.

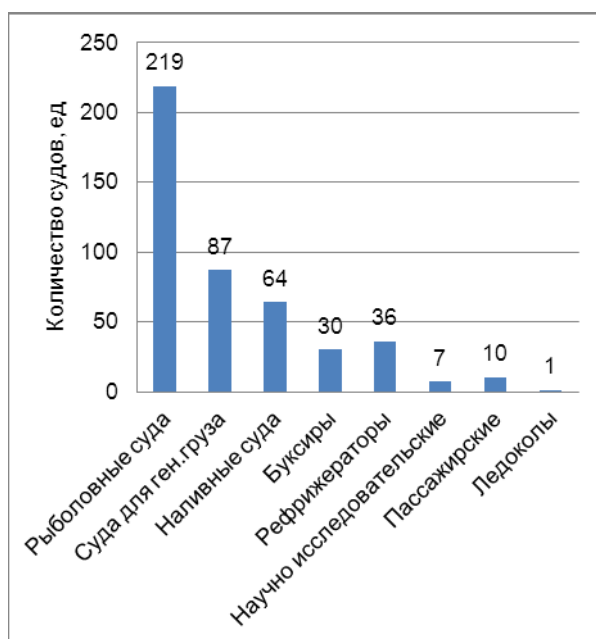


Рис.7. Количество судов основных типов возраст которых превысит нормативный срок службы в течении пяти лет

Видно, что большую часть данных судов, в течении пяти лет, составят рыболовные суда.

Для оценки производительности судостроительной промышленности России, рассмотрим динамику сдачи судов за период 2004 – 2014гг. На рис.8 представлена динамика сдачи судов с указанием количества судов построенных на судостроительных предприятиях России. Как видно из диаграммы на рис.8, начиная с 2010 года, происходит увеличение количества судов построенных в России. О данном показателе в 2014 году можно будет судить в начале 2015 года, когда будут оформлены документы на все суда построенные в 2014 году. Так как суда основных восьми типов указанные в диаграмме на рис.5 представляют 92,7%, рассматривая суда данных типов,

можно составить представление о флоте России в целом. На рис.9 представлена динамика сдачи судов основных типов за период 1960–2014 гг.

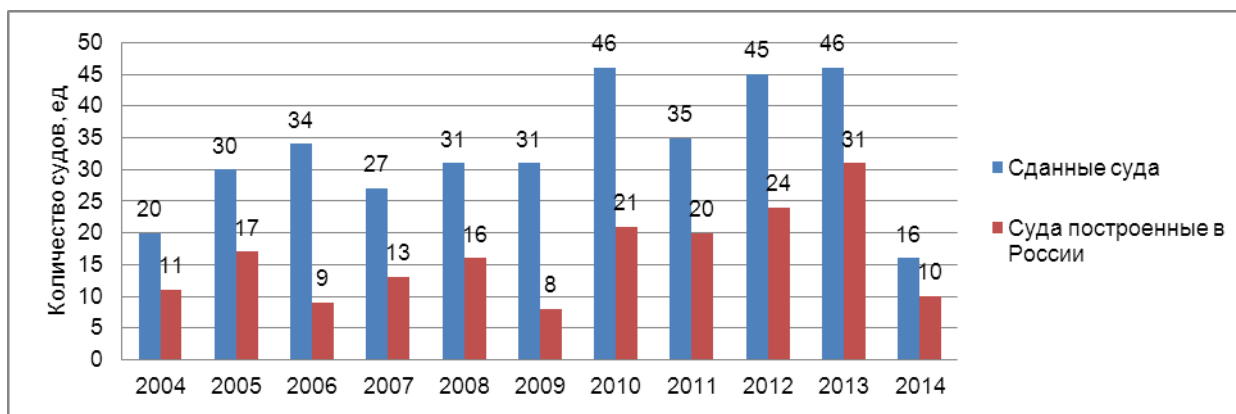


Рис.8. Укрупненная динамика сдачи судов за период 2004–2014гг.

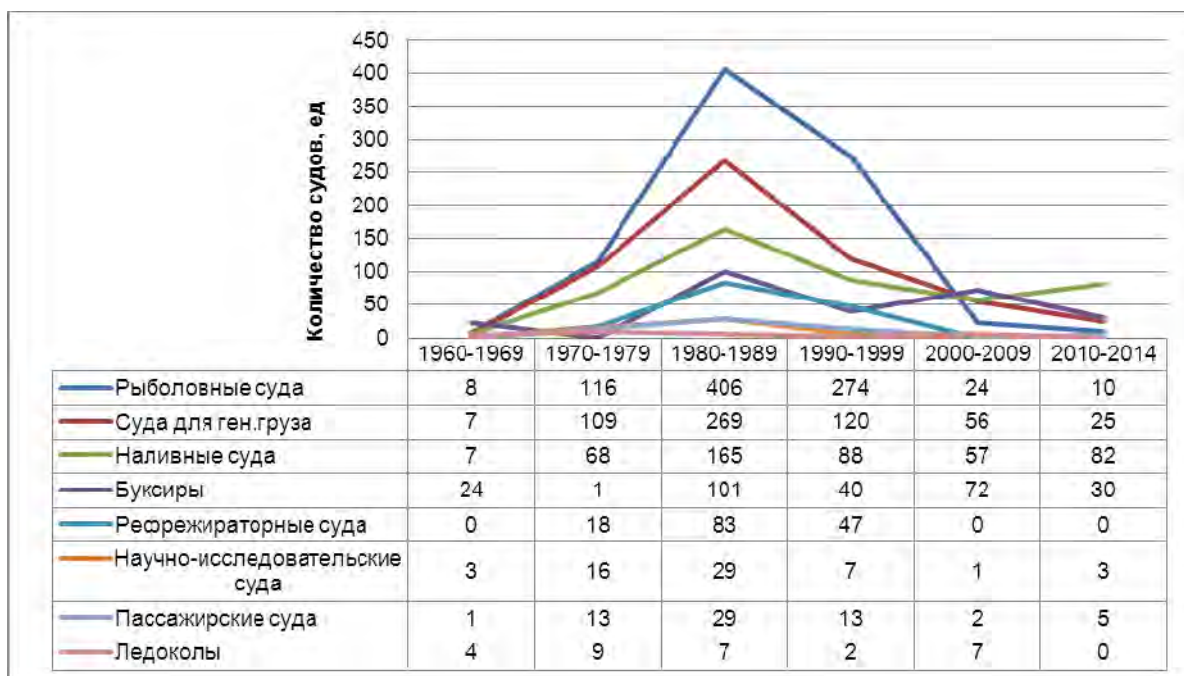


Рис.9. Динамика сдачи судов основных типов

Заключение

Материалы представленные в статье, наглядно иллюстрируют ситуацию сложившуюся в судостроительной отрасли России. Наблюдается повсеместное устаревание флота. Правительству России необходимо принимать меры по стимуляции и поддержке судостроительной отрасли. К счастью,

Ведущим нефтегазодобывающим компаниям необходимо размещать заказы на постройку новых современных судов на верфях России. Так же стоит понимать, что судостроительная отрасль тесно связана со многими отраслями тяжелой промышленности. Развитие судостроения, повлечет за собой в настоящее время реализуется ряд мероприятий направленных на улучшение сложившейся ситуации и развитие судостроения в России. К примеру, реализуются Федеральные

целевые программы «Развитие гражданской морской техники на 2009-2016гг», «Развитие судостроения на 2013-2030гг» строятся судостроительный комплекс «Звезда». Однако, необходимо понимать, что обновление флота является стратегической задачей, и не может быть выполнено в короткий срок. Ключевой задачей для выхода из сложившейся ситуации, должна стать локализация производства судов и морской техники на предприятиях России, развитие промышленности и экономики страны в целом. Кроме того, устаревание флота, говорит о том, что в ближайшие годы, помимо задачи обновления флота, будет стоять задача модернизации и переоборудования существующих судов. В связи с этим, помимо модернизации судостроительных мощностей, необходимо развивать и оптимизировать технологии судоремонта.

Литература

1. Регистровая книга РС [Электронный ресурс] - Электронные данные. Санкт-Петербург: РС, 2014. – режим доступа: <http://info.rs-head.spb.ru/webFS/regbook/regbookVessel?In=ru>, свободный.

References

1. Register book of Russian maritime register of shipping. Citing on line sources: <http://info.rs-head.spb.ru/webFS/regbook/regbookVessel?In=en> [cited 06 November 2014].

УДК 629.12.001.2

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СКОРОСТНЫХ КАТАМАРАНОВ И ДРУГИХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА

Лвин Мин Кхант, аспирант
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: neverreturner@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются некоторые проблемы сравнения эффективности различных транспортных средств в процессе их обоснования и проектирования. Наибольшее внимание уделено транспортной системе Союза Мьянма с целью обоснования целесообразности проектирования и строительства скоростных катамаранов для перевозки пассажиров и туристов по внутренним водным путям страны. Одной из составляющих оценки эффективности является энергетическая составляющая. Рассмотрена и использована оценка энергетической составляющей по Габриелли и Карману. Приведена информация об использовании такой оценки в наше время. Получена и приведена статистическая информация по энергетической эффективности транспортных средств Союза Мьянма. Выполнено сравнение полученных статистических данных с современной информацией по спроектированным и построенным скоростным катамаранам в разных странах мира. Показана целесообразность использования скоростных катамаранов на внутренних водных путях Союза Мьянма для повышения скорости перевозок деловых пассажиров и туристов.

Ключевые слова: эффективность, сравнение, скорость, катамаран, транспорт, энергия, проектирование.

COMPARISON OF EFFECTIVENESS BETWEEN HIGH-SPEED CATAMARANS AND DIFFERENT KINDS OF TRANSPORT

Lwin Min Khant, Postgraduate
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia
E-mail: neverreturner@gmail.com

ABSTRACT

The article describes some problems of the comparison of effectiveness of different means of transport in the process of their validation and design. The conveying system of the Union of Myanmar is taken into account for the purpose of suitability study of design and construction of high speed catamarans for carrying passengers and tourists on inland waterways of the country. One of the assessment components for effectiveness is energy component. The energy assessment component by Gabrielli-von Karman is considered and used. Information about using of that assessment is brought nowadays. Statistical information by energy effectiveness of means of transport of the Union of Myanmar is received and implemented. The comparison of received statistics with up-to-date information by designed and constructed catamarans from various countries of the world is carried out. The expedience of the usage of high speed catamarans on inland waterways of the Union of Myanmar is shown for higher speed of conveyance of passengers and tourists of business.

Key words: effectiveness, comparison, speed, catamaran, transport, energy, design.

Введение

Проектное обоснование целесообразности создания скоростных катамаранов (СК) и их эксплуатации на внутренних водных путях, в том числе и Союза Мьянма, требует проведения исследования транспортных проблем страны. Такое исследование, например, было проведено в Японии для оценки целесообразности создания в этой стране СК, содержащих подводные крылья [1,2].

Транспортные проблемы Союза Мьянма и целесообразность создания, эксплуатации СК для внутренних водных путей страны, использование опыта России, были показаны в работе [3]. В упомянутой работе отмечено, что пассажирские перевозки на многих внутренних водных путях Союза Мьянма, осуществляемые морально и физически устаревшими судами с малой скоростью,

полезно заменить на перевозки с использованием СК.

Габриелли и Карман исследовали вопрос о том, сколько стоит скорость [4,2]. Они провели сравнительную оценку энергетической эффективности различных транспортных средств. Этот фундаментальный подход используют и в наше время [5].

В настоящей статье выполнено сравнение энергетической эффективности современных СК с другими средствами транспорта, используемого в Союзе Мьянма. Для этой цели получена и приведена статистическая информация по используемым транспортным средствам в Союзе Мьянма и по СК, спроектированным и эксплуатирующимся в различных странах мира. На базе проведенных исследований дано обоснование целесообразности создания и использования СК для перевозок туристов и пассажиров на внутренних водных путях страны.

1. Энергетическая эффективность транспорта

Габриелли и Карман сопоставили удельную энерговооруженность различных видов транспорта, в том числе морского, наземного и воздушного [4]. Они собрали доступные им в то время материалы по удельной мощности и скорости хода, а затем сопоставили их в рамках поставленной ими задачи: сколько стоит скорость. Для оценки основных характеристик различных современных транспортных средств (ТС) в настоящей работе был использован материал сайта [6]. Удельная энерговооруженность ТС ϵ определяется следующим образом:

$$\epsilon = P/WV, \tag{1}$$

где P - потребляемая мощность, kBm ;
 W - полный вес транспортного средства, kH ;
 V - максимальная скорость, m/c

Выражение (1) названо - энергетическая эффективность транспорта. По этой величине можно оценить потребляемую мощность различных видов транспорта, имеющего определенный вес (весовое водоизмещение для судов) и развивающих максимальную скорость хода. Чем меньше значение удельной энерговооруженности тем выше энергетическая эффективность того или иного вида транспорта. Габриелли и Карман определили предельную линию, соответствующую уровню технического развития транспорта, линейно пропорциональную скорости. Значение этой предельной линии составляет $\epsilon = 0,000391V$ [5]. Кроме энергетической эффективности учитывают другие характеристики, в том числе, вес и потребление топлива, грузоподъемность и др. При оптимизации проектных решений не ограничиваются техническими и эксплуатационными показателями. Критерием оптимальности проектного решения является показатель экономического характера [7].

2. Статистическая информация по энергетической эффективности транспорта Союза Мьянма

Сравнение энергетической эффективности различных видов транспорта было выполнено для внутренней линии Союза Мьянма, для пассажирских перевозок между городами Мандалаем и Баганом. Эта линия представляет интерес как для туристов, посещающих Союз Мьянма, так и для местных жителей. На этой линии используют различные виды транспорта. В последние годы возрастает роль туристических перевозок по реке Ирравади [3]. Протяженность шоссейной дороги между городами составляет 293 км. Автобусы как государственные, так и частные делают два рейса каждый день туда и обратно. Кроме того, можно вызывать такси для сообщения. Время, затрачиваемое на проезд автобусом, составляет почти 7 часов. Автобусный билет стоит около 20 долларов. Стоимость билета меняется в зависимости от предоставляемых пассажиру услуг. Статистическая информация по энергетической эффективности используемых автобусов была собрана и показана в таблице 1.

Таблица 1

Удельная энерговооруженность используемых автобусов

Наименование	Мощность (кВт)	Вес кН	Скорость (м/с)	Удельная энерговооруженность
Toyota Alphard	202	20.2	55	0.18148575
Honda Cevic	147	15.1	60	0.16129032
Toyota Celica	105	15.3	50	0.13692377
JJ express	112	18	32	0.19444444
Shwe Maung	150	20.1	36	0.20729684
DuWon	175	19	40	0.23026315
Seinyangmin	175	20	44	0.19886363
Shwesin	220	23	50	0.19130434

Некоторые туристы и местные пассажиры используют железнодорожный транспорт. Протяженность железнодорожного пути составляет 278 км, а время в пути почти 9 часов. Стоимость билета на поезд около 10 долларов. Однако стоимость меняется в зависимости от предоставляемых пассажиру услуг. Пассажирские суда ежедневно эксплуатируются на линии между Мандалаем и Баганом. Туристы предпочитают использовать водный транспорт, а не другие виды, из-за достопримечательностей, которые можно видеть по берегам реки. Однако тихоходность пассажирских судов является проблемой. Протяженность этого водного пути составляет 180 км (97 морских миль) и билет на судно стоит 40 долларов. В эту стоимость входит предлагаемый пассажиру континентальный завтрак. Тихоходные речные суда затрачивают около 10 часов на преодоление рассматриваемого маршрута. Статистическая информация по энергетической эффективности

эксплуатирующихся пассажирских судов была собрана и показана в таблице 2.

Таблица 2

Удельная энерговооруженность пассажирских судов

Наименование	Мощность (кВт)	Вес (кН)	Скорость (м/с)	Удельная энерговооруженность
Irrawady Prince	266	600	5.14	0.08625162
Malikha River	560	1050	8.2	0.06504065
Paukan 12	634	2450	5.14	0.05034543
Paukan 47	448	1450	4.1	0.07535744
Shwe Keinnary	296	750	6.7	0.05890547
Mahaythi	239	550	4.1	0.105986696

На линии Мандалай – Баган используется и воздушный транспорт. Самолеты летают между городами, но ежедневных рейсов нет. Самолет проходит путь между городами за 30 минут, если это прямой рейс и авиационный билет стоит 90 долларов. Статистическая информация по энергетической эффективности используемых самолетов в Союзе Мьянма была собрана и показана в таблице 3.

Таблица 3

Удельная энерговооруженность самолетов

Наименование	Мощность (кВт)	Вес кН	Скорость (м/с)	Удельная энерговооруженность
ATR 72-600	4103	223	142	0.12933915
ATR 42-500	3581	182	154	0.12755483
Fokker 50	4103	191	147	0.14613384
Fokker 100	31547	449	235	0.29897806
Airbus A318	46000	534	230	0.37453183
Airbus A319	50600	573	230	0.38394415
Airbus A320	52900	613	230	0.37520391
Airbus A321	64400	723	230	0.38727524
Boeing 737-800	57328	621	236	0.39116638
MRJ 90	39317	388	251	0.40371729
Cessva Caravana	505	39	88	0.14714452
Comac ARJ21	18335	397	242	0.19084507
Embraer E-190	22003	468	247	0.19034205

3. Статистическая информация по энергетической эффективности современных скоростных катамаранов

В наше время в мировом судостроении увеличился интерес к строительству и использованию скоростных катамаранов. Во многих странах мира используются современные скоростные катамараны для перевозки автомобилей и пассажиров.

Статистическая информация по энергетической эффективности современных скоростных катамаранов была собрана и показана в таблице 4.

Таблица 4

Удельная энерговооруженность современных скоростных катамаранов

Наименование	Мощность (кВт)	Вес кН	Скорость (м/с)	Удельная энерговооруженность
Kanoo 42	2164	568	29.8	0.12784762
Alicat 1	1966	519	27.3	0.13875655
AMG Incentiv	1790	490	25.7	0.14214246
MV Gesa	1800	1499	10.3	0.11658257
Fast Cat M1	1940	2352	7.71	0.10698183
Evolution One12	36000	14686	21.6	0.11348676
Freedom Monarch	1340	833.9	11.8	0.135841391
Sawqrah	9860	3532	20.6	0.135688942
Aurora	2163	2752	8.23	0.095511486
Spirit of Kangaroo	2236	3434	8.23	0.079090421

4. Сравнение энергетической эффективности различных транспортных средств и целесообразность эксплуатации скоростных катамаранов

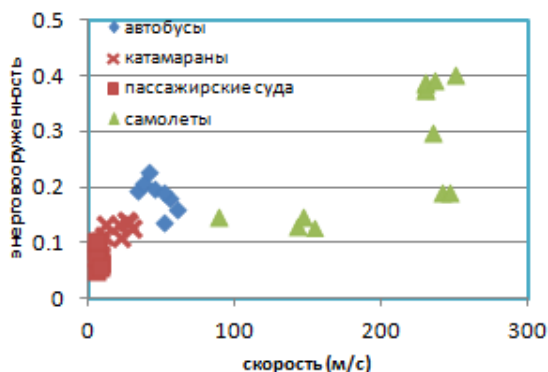
Для сравнения энергетической эффективности различных транспортных средств построена диаграмма Габриелли - Кармана (рис.1). По оси ординат на этом рисунке нанесено значение удельной энерговооруженности, а по оси абсцисс - значение скорости. Из рассмотрения этого рисунка следует, что пассажирские суда имеют наименьшие величины удельной энерговооруженности, что свидетельствует об их энергетической эффективности, но у этих пассажирских судов сравнительно малые скорости хода.

Наземный транспорт (автобусы) находится в диапазоне средних скоростей, а воздушный – высоких. По концепции Габриелли-Кармана, транспортное средство с малой скоростью является наиболее экономичным видом транспорта. Величины удельной энерговооруженности современных скоростных катамаранов больше чем у эксплуатирующихся пассажирских судов, но у этих скоростных катамаранов сравнительно высокие скорости хода.

Протяженность водного пути между Мандалаем и Баганом меньше шоссейной дороги и величины удельной энерговооруженности современных скоростных катамаранов меньше чем у автобусов. Если катамаран со скоростью 16 уз, эксплуатируется на линии между Мандалаем и Баганом, то он затрачивает время в пути около 6 часов, а со скоростью 20 уз около 4 часов.

В последние годы возрастает роль туристических перевозок между Мандалаем и Баганом, и Баган является одним из древних городов, привлекающих туристов. Представляется, что это

требует повышенного внимания, прежде всего к качественному состоянию речного транспорта. В настоящее время речной флот, эксплуатирующийся между Мандалаем и Баганом, состоит главным образом из тихоходных судов, которые не обеспечивают всех потребностей, особенно для туристов, посещающих Союз Мьянму.



References

1. *Akagi S. A.* Study of Transport Economy and Market Research for High-Speed Marine Passenger Vehicles// Proc. of FAST'93.1993.Vol.2.P.1129-1142.
2. *Lyakhovitsky A.G.* Osnovi proektirovaniya skorostnich sudov. – SPb.: Izd. Zentr SPbGMTU, 2009. 181 s.
3. *Lyakhovitsky A.G., Lwin Min Khant.* Passazhirskie perevozki vodnym transportom v Soyuze Myanma // Mor-skoj vestnik. 2014. N 2(50).
4. *Gabrielli G., von Karman T.H.* What Price Speed?// Mechanical Engineering. 1950. Vol.72, N10.P.775-781.
5. *Neu W.L.* Gabrielli-von Karman: Updating the Plot. Has transportation effectiveness improved since 1950? // Marine Technology. 2013. April. P.17-19.
6. <http://www.sname.org/mt/webexclusive>.
7. *Bronnikov A.V.* Proektirovanie sudov. L.: Sudostroenie, 1991.

УДК 629.12.001.2

МНОГОУРОВНЕВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОМ СКАНИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА ПАРАМЕТРОВ НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУДНА

Артюшина Татьяна Геннадиевна, кандидат технических наук, доцент
Российская экономическая академия им. Г. В. Плеханова
Москва, Россия
E-mail: kafedra_vm@mail.ru

Гайкович Александр Иосифович, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры проектирования судов
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: a_gaikov@mail.ru

Никитин Николай Васильевич, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры проектирования судов
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: morintex_spb@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В работе рассматривается проблема увеличения степени детализации математических моделей на начальных стадиях проектирования кораблей и судов. Такие модели составляют основу поиска оптимальных параметров проекта. Поскольку алгоритмы оптимизации, по существу, являются переборными, то возникает конфликт между степенью детализации модели и возможностью ее реализации на компьютере. Разрешение этого противоречия возможно путем использования многоуровневой оптимизации, когда параметры подсистем корабля оптимизируются автономно, а затем локальные решения согласуются между собой в рамках глобальной задачи проектирования корабля. При такой постановке появляется проблема выбора алгоритма оптимизации. Желательно. Чтобы такой алгоритм был един для глобальной и локальных подзадач, легко понимался инженерами-пользователями, а также имел простую компьютерную реализацию. В качестве такого алгоритма в статье предлагается использовать алгоритм сканирования пространства параметров проекта (оптимизируемых переменных) путем случайного наброса точек в таком пространстве. Согласование результатов локальной оптимизации производится с помощью аппарата нечетких множеств путем применения функций принадлежности. Дается описание тестовой математической модели проектирования судна.

Ключевые слова: проектирование судов, математическая модель судна, многоуровневая оптимизация, сканирование, пространство параметров, глобальная задача оптимизации, локальная задача оптимизации, нечеткая переменная, функция принадлежности.

MULTILEVEL OPTIMIZATION METHODS TO SCAN THE PARAMETER SPACE AT THE INITIAL SHIP DESIGN STAGE

Artjushina Tat'jana Gennadievna, the candidate of Science, associate professor
Russian Economic Academy named after G. V. Plekhanov
Moskva, Russia
E-mail: kafedra_vm@mail.ru

Gajkovich Aleksandr Iosifovich, the professor, Dr.Sci.Tech.,
the professor of DEPARTMENT OF SHIP DESIGN
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia
E-mail: a_gaikov@mail.ru

Nikitin Nikolay Vasilevich, the professor, Dr.Sci.Tech.,
the professor of DEPARTMENT OF SHIP DESIGN
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia
E-mail: morintex_spb@mail.ru

ABSTRACT

This paper considers the problem of increasing the level of detail of mathematical models in the initial stages of designing ships and vessels. These models form the basis for the search of optimal parameters of the project. Since the optimization algorithms are essentially linear search, then a conflict arises between the model and the degree of detail the possibility of its realization in the computer. The resolution of this contradiction is possible through the use of multi-level optimization, the parameters of the ship subsystems optimized independently, and then local decisions are consistent with each other as part of the global problem of ship design. In this formulation, there is the problem of choosing the optimization algorithm. Desirable. To such an algorithm was one for the global and local subtasks easily understood by engineers, users, and also had a simple computer implementation. As such an algorithm in the article are encouraged to use scanning algorithm parameter space project (optimized variables) by random pounce points in this space. Reconciliation of the results of local optimization is performed using fuzzy sets by applying the membership functions. A description of the test mathematical model ship design.

Key words: designing ships, the mathematical model of the vessel, a multi-level optimization, scan the parameter space, the global optimization problem, the local optimization problem, fuzzy variable, function facilities.

Введение

Одним из достижений компьютеризации на начальных стадиях проектирования является возможность использования разнообразных математических методов для поиска наилучшего варианта корабля или судна, а также изучения влияния параметров внешней среды и характеристик подсистем самого корабля на его свойства.

Однако качество получаемых результатов зависит не столько от применяемых формальных математических методов, сколько от качества описания проектируемого корабля в его математической модели.

Качество математической модели может быть описано в категориях полноты и степени детализации.

Под *полнотой* математической модели корабля будем понимать количество факторов внешней среды, число описанных в модели подсистем и элементов корабля. В понятие полноты входит также номенклатура отношений между подсистемами и между элементами корабля, а также перечень свойств корабля, отраженных в его математической модели.

Степень детализации характеризуется числом параметров, входящих в описание конкретных факторов внешней среды, подсистем, элементов и свойств корабля.

Чем выше полнота и детализация математической модели, тем выше степень её адекватности, а следовательно, и надежность результатов, получаемых с её помощью.

Однако, здесь возникает противоречие между стремлением максимально повысить степень адекватности модели и возможностью ее компьютерной реализации.

Полемически заостряя проблему, можно сказать, что все алгоритмы оптимизации, в той или иной мере, приводят к переборным задачам. Такие задачи являются весьма критичными как, с точки зрения числа варьируемых переменных, так и общего объема расчетов. Таким образом, условие реализуемости требует понижения степени и полноты и детализации.

Преодоление указанного противоречия возможно за счет изменения структуры решаемой оптимизационной задачи, а именно ее декомпозиции и переходу к многоуровневой оптимизации.

Некоторым подходам к проблеме многоуровневой оптимизации и посвящена данная статья.

1. Формальная постановка задачи многоуровневой оптимизации проектируемого судна

Общая формулировка задачи проектирования корабля как многоуровневой оптимизационной приведена в соответствии с работой [1]:

$$\begin{aligned}
 & C(c_1, \dots, c_p) ; \quad \mathbf{X}(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_N) ; \\
 & (x_i)_{\min} \leq x_i \leq (x_i)_{\max}, \quad i = 1, \dots, n ; \\
 & x_i = \|x_{is}\|, \quad i = n+1, \dots, N, \quad s = 1, \dots, S_i ; \\
 & G_j(\mathbf{X}, \mathbf{C}) \geq A_j(\mathbf{C}), \quad j = 1, \dots, m ; \quad (1) \\
 & G_j(\mathbf{X}, \mathbf{C}) = A_j(\mathbf{C}), \quad j = m, \dots, M ; \\
 & q_r(\mathbf{X}, \mathbf{C}) \otimes Q_r(\mathbf{X}) = y_r, \quad r = 1, \dots, R ; \\
 & y_r = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} ; \\
 & \text{extr } Z(\mathbf{X}, \mathbf{C})
 \end{aligned}$$

где \mathbf{C} — вектор технического задания, элементы которого представляют собой количественные и качественные требования к кораблю; \mathbf{X} — вектор оптимизируемых переменных, достаточный для получения требуемой информации по проекту и содержащий n непрерывных и $N - n$ дискретных компонентов.

Следует отметить, что дискретные переменные могут быть булевыми и лингвистическими. Матрица $\|x_{is}\|$ представляет собой таблицу допустимых значений для дискретных оптимизируемых переменных. Требования к кораблю формулируются в виде совокупности равенств, неравенств и логических условий.

Характеристики проектируемого корабля описываются функциями G_j и q_r , а требования к характеристикам соответственно функциями A_j и Q_r . Выполнение логических условий связывается со значением булевой переменной y_r , имеющей значение «истина» (1) или ложь (0).

Для глобальной оценки соответствия качеств проектируемого корабля целям его создания применяется критерий эффективности (функция цели) Z , монотонно связанный с такой оценкой. Наилучшим считается вариант проекта, для которого критерий достигает экстремального значения (минимума или максимума в зависимости от физической природы критерия).

Задача (1) относится к классу задач нелинейного программирования со смешанной природой оптимизируемых переменных и лингвистическими условиями в системе ограничений.

Созданная математическая модель проектируемого судна предназначена не для определения оптимальных проектных характеристик судна определенного класса, а для моделирования самого процесса проектирования и выявления особенностей, присущих многоуровневой оптимизации.

Такая математическая многоуровневая модель проектируемого судна должна удовлетворять ряду требований:

- содержать условия существования и целостности судна как технической системы;
- включать в себя математические модели подсистем судна, существенные для принятия проектных решений на начальных стадиях проектирования;
- отображать важнейшие свойства судна как технической системы;
- использовать каталоги комплектующих изделий, как это имеет место в проектной практике;
- допускать использование для оптимизации подсистем локальных критериев эффективности различной физической природы.

В качестве моделируемого типа судна выбран контейнеровоз с собственным грузовым устройством.

Краткие сведения по моделям, используемых для исследования проблем многоуровневой оптимизации приведены в таблице.

Таблица

Наименование подсистемы	Оптимизируемые переменные	Функциональные ограничения
Судно в целом	Главные размерения и коэффициент общей полноты	Грузоподъемность, вместимость, остойчивость, качка, надводный борт
Корпус	Приведенные толщины палубы и днища	Момент сопротивления эквивалентного бруса
Гидродинамический комплекс	Дисковое отношение винта, диаметр винта, частота вращения винта	коэффициент оборотов – упора (условие применимости эмпирических зависимостей)
Энергетическая установка	Мощность главного двигателя, суммарная мощность ЭУ, частота вращения вала отбора мощности	Каталог главных двигателей, потребная мощность энергетической установки
Электроэнергетическая система	Число генераторов, работающих в ходовом режиме, число генераторов, работающих на стоянке	Потребная мощность электростанции на ходовом режиме и на стоянке, каталог генераторов
Рулевое устройство	Высота пера руля, ширина пера руля	Осадка судна, геометрические соотношения формы пера, эффективность рулевого устройства по Правилам
Грузовое устройство	Число кранов, грузоподъемность крана	Минимальная и предельная грузоподъемность, число кранов, работающих на один люк
Прочие	-	В ограничениях для судна в целом
Перевозимый груз	-	В ограничениях для судна в целом

2. Выбор алгоритма решения задачи многоуровневой оптимизации проектируемого судна

Алгоритм для решения оптимизационных задач должен удовлетворяющий следующим требованиям.

1. Применимость к любым нелинейным задачам математического программирования независимо от характера функций ограничений и критерия эффективности.
2. Возможность решения задач со смешанной природой оптимизируемых переменных: как непрерывных, так и дискретных.
3. Обеспечивать исследование окрестности области оптимального решения с целью его обоснования.
4. Просто интерпретировать полученные результаты инженером, не имеющим специальной математической подготовки.

Из первого и четвертого требования вытекает невозможность использования алгоритмов оптимизации, использующих первую и вторую производные критерия эффективности и ограничений. В общем случае, функции, входящие в систему ограничений задачи оптимизации и критерий эффективности, могут не обладать непрерывностью. Это обстоятельство исключает возможность использования релаксационных методов оптимизации.

Сеточные алгоритмы удовлетворяют перечисленным требованиям, однако при большом числе узлов регулярной сетки (что имеет место в задаче многоуровневой оптимизации) объем вычислительной работы становится чрезмерно большим.

Пошаговые сеточные алгоритмы могут уменьшить объем вычислений, но перестают гарантировать нахождение глобального оптимума (с точностью до шага сетки).

Альтернативой сеточным алгоритмам могут служить алгоритмы случайного поиска. Обладая низкой теоретической сходимостью (нахождение решения с вероятностью 1 при бесконечно большом числе шагов алгоритма), тем не менее, они показали свою высокую эффективность при решении целого ряда инженерных задач (школа Л.С. Растригина).

Так, известен алгоритм случайного поиска, предложенный Р. Mandel и L. Reuven и усовершенствованный А.И. Гайковичем, успешно примененный для оптимизации параметров судов различных типов.

К сожалению, средства настройки и управления данного алгоритма насчитывают около десятка параметров и требуют от пользователя хорошей математической подготовки.

Поэтому был предложен упрощенный алгоритм случайного поиска, реализующий сканирование области определений функций ограничений и критерия эффективности путем псевдоравномерного наброса случайных точек.

Формула определения значения оптимизируемой переменной в предлагаемом алгоритме:

$$X_i = X_{i \min} + (X_{i \max} - X_{i \min}) \cdot Y \quad (2)$$

где X_i – искомое значение i -й переменной, $X_{i \min}$, $X_{i \max}$ – диапазон изменения i -й переменной, Y – случайная величина, равномерно распределенная на сегменте $[0, 1]$.

Предложенный алгоритм удовлетворяет всем вышеперечисленным требованиям.

Его блок-схема показана на рис. 1.

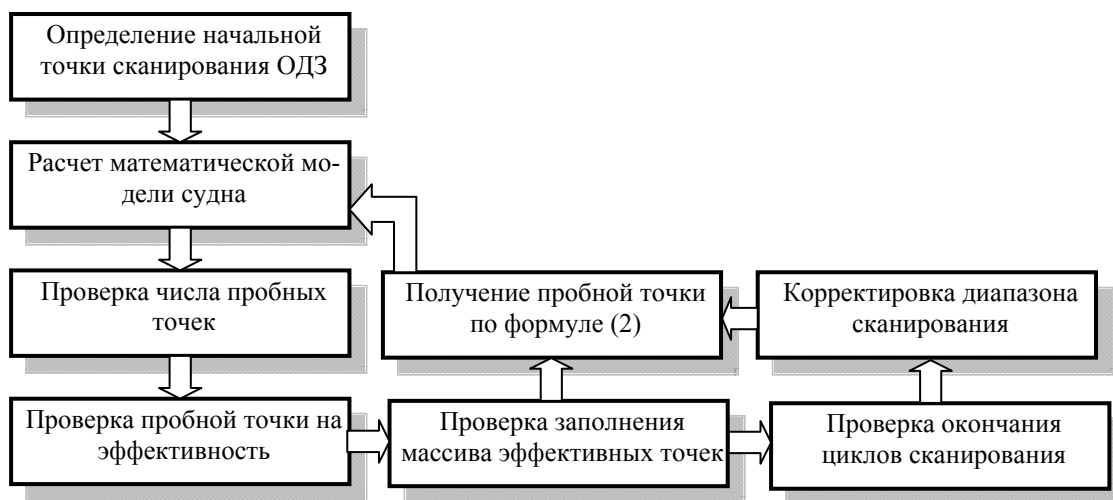


Рис. 1. Алгоритм оптимизации методом случайного сканирования

Поиск решения оптимизационной задачи осуществляется следующим образом. Устанавливается число циклов "наброса" при сканировании области определения задачи и число пробных точек в цикле, т.е. число проверяемых координат в пространстве состояний проектируемого судна.

Затем устанавливается предельное число эффективных точек, т.е. вариантов, для которых выполняется система ограничений. Таким образом, управление алгоритмом осуществляется всего с помощью 3-х параметров:

- числа циклов сканирования ("наброса");

- числа пробных точек в цикле;
- числа эффективных точек.

Оптимальное решение определяется из множества эффективных точек по значению принятого критерия эффективности.

Для улучшения сходимости алгоритма к оптимуму между циклами сканирования происходит корректировка области определения задачи.

Такая корректировка подразумевает, что в качестве нижней границы переменной принимается наименьшее значение этой переменной на множестве эффективных точек, а верхней границей является максимальное значение переменной на указанном множестве.

Контролем правильности полученного решения является:

- сравнение результатов разных циклов сканирования;
- сравнение в случае использования различных начальных значений генератора случайных чисел,
- превращение части ограничений задачи в лимитирующие, т.е. выполняющихся в форме равенств.

3. Согласование решений локальных оптимизационных задач

Проблема согласованности полученных локальных оптимальных решений решается отбрасыванием тех решений по подсистемам, которые приводят к нарушению ограничений глобальной задачи.

Проблема непротиворечивости снимается оптимизацией подсистем по собственным критериям с последующей оценкой по глобальному критерию для судна "в целом".

Помимо проблем согласованности и непротиворечивости, при веерной структуре многоуровневой оптимизационной задачи возникает проблема согласования решений по подсистемам если в их состав входят одни и те же параметры. В построенной математической модели это частота вращения винта, которая, естественно должна совпадать (с учетом возможной погрешности расчетов) с частотой вращения выходного вала редуктора энергетической установки.

Для решения проблемы согласования в случае общих переменных используется теория нечетких множеств.

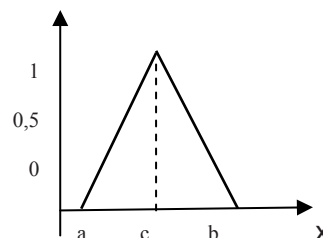
Нечеткое подмножество G множества X характеризуется функцией принадлежности $\mu_G(x) \in [0,1]$, которая ставит в соответствие каждому элементу $x \in X$ число $\mu_G(x)$ из интервала $[0, 1]$, характеризующее степень принадлежности элемента x подмножеству G . Причем 0 и 1 представляют собой соответственно самую низкую и самую высокую степень принадлежности элемента к определенному подмножеству. Подобным же образом описывается нечеткое множество ограничений C в множестве X .

В данном случае рассматривается принадлежность решения оптимизационной задачи к нечеткому подмножеству задач согласованных по общим параметрам.

Функция принадлежности для множества решений задается соотношением $\mu_D(x) = \mu_G \wedge \mu_C$. В общем случае, если имеется n целей и m ограничений, то результирующее решение определяется пересечением всех заданных целей и ограничений.

Так "треугольная" функция принадлежности имеет вид:

$$\mu_3(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq a \\ \frac{x - a}{c - a}, & \text{если } a < x \leq c \\ \frac{b - x}{b - c}, & \text{если } c < x < b \\ 0, & \text{если } x \geq b \end{cases} \quad (3)$$



Границы ограничений при описании функции принадлежности назначаются экспертным путем, что позволяет формализовать опыт проектанта.

Первоначально рассчитываются «подсистема 1» и «подсистема 2», затем проводится согласование на уровне подсистем и согласование с вышестоящим уровнем.

Изначально задаются интервальные параметры для поиска решений в соответствии с выбранной функцией принадлежности. Если в результате расчета получится пустое множество согласованных решений, то необходимо выполнить еще одну итерацию. Во время второй итерации будет расширена область допустимых решений путем введения новой области «возможно подходит» (за счет изменения граничного значения функции принадлежности. Плюсом алгоритма является его применимость не только к конфликтным, но и к согласованным ситуациям, при которых существует непустая область допустимых решений и в этой области существует решение вышестоящего уровня. Таким образом, не требуется отдельный алгоритм для работы с согласованной и с несогласованной ситуацией.

4. Комплекс программ и компьютерные эксперименты

Комплекс программ (рис. 2) реализован в среде программирования Delphi 7 и имеет модульную структуру.



Рис. 2. Диалоговое окно головного модуля

В состав комплекса входят следующие модули:

- головной модуль, обеспечивающий доступ к комплексу и позволяющий начать работу (рис. 2);
- модуль ввода исходных данных для работы с математической моделью проектируемого судна;
- модуль ввода исходных данных для работы алгоритмов оптимизации и согласования;
- модуль содержащий математические модели проектируемого судна, его подсистем, алгоритмы оптимизации и согласования, процедуры вывода результатов на экран и печать;
- модуль описания глобальных переменных и массивов.

Сами модули также имеют блочную структуру: так алгоритмы оптимизации и согласования состоят, фактически из 2-х процедур: процедуры наброса и процедуры сортировки массива.

Взаимодействие модулей программного комплекса в процессе решения задачи многоуровневой оптимизации судна показано на рис. 3.

Порядок выполнения задачи с помощью программного комплекса заключается в следующем.

Выполняется ввод исходных данных для математической модели судна, а также алгоритмов оптимизации и согласования.

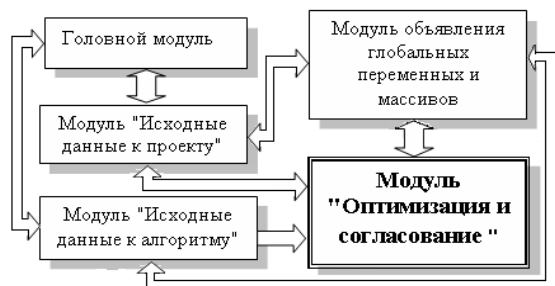


Рис. 3. Схема взаимодействия модулей в комплексе

Затем, в модуле "Оптимизация и согласование" рассчитываются оптимальные значения главных размерений судна и коэффициента об-

щей полноты в 0-м приближении. Данные о подсистемах, необходимые для проверки ограничений и вычисления критерия глобальной задачи, находятся с помощью эмпирических формул. Аргументами этих формул являются компоненты вектора X_1 .

По полученным из 0-го приближения главным размерениям и коэффициенту общей полноты оптимизируются характеристики подсистем. Для подсистем "Гидродинамический комплекс" и "Энергетическая установка" проводится, описанная выше, процедура согласования.

Полученная информация по оптимальным подсистемам передается в модель "Судно в целом", где производится оптимизация главных размерений и коэффициента полноты. Таким образом, глобально оптимальное судно "собирается" из оптимальных подсистем.

Вариант такого оптимального судна образует допустимую точку для решения задачи многоуровневой оптимизации.

Из совокупности допустимых вариантов выбирается наилучший по значению глобального критерия.

В качестве базового судна для компьютерных экспериментов был принят контейнеровоз вместимостью 300 ... 500 TEU.

Верификация многоуровневой модели проектирования судна велась как по отдельным подсистемам, так и по судну в целом.

Модели подсистем, работающие с каталогами комплектующих изделий и осуществляющие процедуру выбора, такие как "Энергетическая установка", "Грузовое устройство" в верификации не нуждаются.

Расчеты нагрузки сравнивались с данными технического проекта, а потребная мощность рассчитывалась по полностью аналитической схеме, без использования экспериментальных данных. Результаты верификации по указанным моделям следует считать приемлемыми.

Верификация модели "Рулевое устройство" сводится к проверке качества аппроксимации графиков, определяющих критерии управляемости в Правилах Российского Морского Регистра Судоходства. Погрешность аппроксимации удовлетворяет требованиям точности к расчетам на начальных стадиях проектирования.

Достаточную степень адекватности модели проектирования судна в целом доказывают характеристики "оптимальных" судов, полученных с ее помощью. Эти характеристики в целом соответствуют существующей проектной практике.

Заключительные замечания

Проведенные компьютерные эксперименты подтвердили принципиальную возможность использования алгоритма "наброса" для решения задачи многоуровневой оптимизации применительно к судну.

В дальнейшем необходимо выявить влияние числа точек сканирования на получаемый результат оптимизации. Исследованию подлежит

также механизм сужения диапазона изменений параметров проекта в ходе работы алгоритма.

Созданная математическая модель может быть использована для дальнейшего исследования прикладных проблем многоуровневой опти-

мизации на начальных стадиях проектирования судов.

Проблема многоуровневой оптимизации и смежные вопросы, рассмотренные в статье, исследуются также в работах [2] ... [8],

Литература

1. *Гайкович А.И.* Основы теории проектирования сложных технических систем. – СПб., Моринтех, 2001.
2. *Гилл Ф., Мюррей У., Райт М.* Практическая оптимизация. – М., "Мир". 1985.
3. *Захаров И.Г.* Теория компромиссных решений при проектировании корабля. – Л., Судостроение, 1987.
4. *Лэсдон Л.С.* Оптимизация больших систем. – М., Наука, 1975.
5. *Месарович М., Мако Д., Такахара И.* Теория иерархических многоуровневых систем. – М., изд. "Мир". 1973.
6. *Орловский С.А.* Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М., Наука, 1981
7. *Пашин В.М.* Оптимизация судов. – Л., Судостроение, 1983.
8. *Первозванский А.А., Гайцгорн В.Г.* Декомпозиция, агрегирование и приближенная оптимизация. – М., Наука, 1979.

References

1. *Gajkovich A.I.* Osnovy teorii proektirovaniya slozhnyh tehnicheskikh sistem. SPb., izd. "Morinteh", 2001.
2. *Gill F., Murrej U., Rajt M.* Prakticheskaja optimizacija. M., izd. "Mir". 1985.
3. *Zaharov I.G.* Teorija kompromissnyh reshenij pri proektirovanii korablja. L., izd. "Sudostroenie", 1987.
4. *Ljesdon L.S.* Optimizacija bol'shih sistem. M., izd. "Nauka", 1975.
5. *Mesarovich M., Mako D., Takahara I.* Teorija ierarhicheskikh mnogourovnevnyh sistem. M., izd. "Mir". 1973.
6. *Orlovskij S.A.* Problemy prinjatija reshenij pri nechetkoj ishodnoj informacii. M., izd. "Nauka", 1981
7. *Pashin V.M.* Optimizacija sudov. L., izd. "Sudostroenie", 1983.
8. *Pervozvanskij A.A., Gajcgorn V.G.* Dekompozicija, agregirovanie i priblizhennaja optimizacija. M., izd. "Nauka", 1979.

Теория корабля и строительная механика

УДК 629.5.015.4:004.942

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ПРОМЫСЛОВЫХ СУДОВ ПРИ КОРРОЗИИ КОРПУСА, ШВАРТОВЫХ ОПЕРАЦИЯХ И ВОСПРИЯТИИ МНОГОКРАТНЫХ НАГРУЗОК НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ

Бураковский Павел Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теории эксплуатации судов и промышленного рыболовства
Калининградский государственный технический университет
Калининград, Россия
E-mail: paul_b@mail.ru

Нечаев Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры вычислительной техники и информационных технологий
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
профессор кафедры строительной механики корабля и сопротивления материалов
Калининградский государственный технический университет
Калининград, Россия
E-mail: nechaev@ifmo.mail.ru

АННОТАЦИЯ

Эксплуатация судов промыслового флота сопряжена с появлением таких дефектов корпуса, как коррозионный износ и остаточные деформации конструкций и их элементов, что нередко является следствием многократного воздействия эксплуатационных нагрузок большой интенсивности, действующих, в том числе, в процессе проведения швартовых операций в открытом море. В статье обсуждаются результаты практической реализации графоаналитической системы при контроле эксплуатационной прочности промысловых судов на основе современной теории катастроф. Основное внимание уделяется контролю прочности при коррозии корпуса, швартовых операциях и восприятии многократных нагрузок на основе методов строительной механики корабля и достижений современных интеллектуальных технологий. Для случая коррозионного износа корпуса осуществлен синтез графоаналитической системы на основе множества Кантора, обеспечивающей контроль прочности судна в условиях эксплуатации на заданном интервале времени. Для проблемы швартовки судов в морских условиях разработано графоаналитическое решение и предложен алгоритм контроля ситуации на основе данных наблюдений и методов статистического анализа. Также проведено моделирование прочности корпусных конструкций при многократном нагружении в условиях различной интенсивности действующих нагрузок, результаты которого использованы при построении модифицированной модели множества Кантора. Таким образом, на основе разработанной интеллектуальной технологии предложен подход и методология мониторинга эксплуатационной прочности, позволяющая повысить эффективность использования промысловых судов в сложных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: графоаналитическая система, эксплуатационная прочность, экстремальные ситуации, фрактальные отображения, энтропийный подход, коррозия, эксплуатационные нагрузки, швартовка, накопление прогибов.

PRACTICAL REALIZATION OF GRAPHIC-ANALYTICAL CONTROL SYSTEM FOR OPERATIONAL STRENGTH OF FISHING VESSELS AT HULL CORROSION, MOORING OPERATIONS AND TAKING MULTIPLE LOADS ON THE BASIS OF MODERN CATASTROPHE THEORY

Burakovskiy Pavel Evgenievich, Ph. D., Ass. professor of theory, ship performance of commercial fisheries department
Kaliningrad state technical university
Kaliningrad, Russia
E-mail: paul_b@mail.ru

Nechaev Yury Ivanovich, Professor, Dr. of tech. Sc,
Professor of department «Computer science»
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia
Professor of department of structural mechanics of ship and strength of materials
Kaliningrad state technical university
Kaliningrad, Russia
E-mail: nechaev@ifmo.mail.ru

ABSTRACTS

Operation of fishing fleet vessels is related with some defects of the hull such as corrosion wear and residual deformations of designs and their elements which are quite often a consequence of multiple influence of intensive operational loadings, including the loadings during mooring operations in the open sea. The results of practical application of graphic-analytical system when monitoring the operation strength of fishing vessels based on the modern catastrophe theory are discussed in the article. Special attention is paid to monitoring of strength in case of the hull corrosion, mooring operations and multiple loadings on the basis of both methods of the vessel construction mechanics and achievements of modern intellectual technologies. The synthesis of graphic-analytical system on the basis of Cantor set which provides monitoring of the vessel strength under operating conditions during the time intervals was introduced to solve the problem of corrosion wear. The graphic-analytical decision is developed to solve the problem of mooring of vessels in the sea conditions and the algorithm of monitoring the situation was suggested on the basis of supervision data and statistical analysis methods. Modeling of hull strength structures under multiple loadings in the conditions of various intensity of the operating loadings was made. The results are used for the creation of modified model of Cantor set. Thus, a new approach and methodology for operational strength monitoring were introduced on the basis of the developed intelligent technology. That increases the efficiency of fishing vessels operation in difficult environmental conditions.

Key words: graphic-analytical system, operational strength, emergency situations, fractal pictures, entropy approach, corrosion, operational loadings, mooring, accumulation of deflections.

Введение

Задачи эксплуатационной прочности промысловых судов на основе концепции бортовых интеллектуальных систем (ИС) [1],[2] были рассмотрены применительно к контролю общей прочности, явления «захвата» при движении судна на встречном волнении, а также при посадке на мель, столкновении судов и входе судна в ледовое поле. Алгоритмы решения этих задач реализованы на основе теории графоаналитических систем [3] с использованием фрактальных структур и энтропийного представления [4] в рамках парадигмы обработки информации в высокопроизводительной вычислительной среде [1],[6]. Концепция динамической модели катастроф [5] обеспечивает интеграцию интеллектуальных тех-

нологий и высокопроизводительных средств обработки информации в рамках графоаналитической системы [3] интерпретации задач эксплуатационной прочности в сложной динамической среде, обусловленной влиянием эффектов различной физической природы в условиях неопределенности и неполноты исходной информации [2],[6],[7].

В настоящей статье обсуждаются вопросы использования графоаналитической системы применительно к задачам оценки коррозионного износа корпуса, эксплуатационных дефектов, полученных, в частности, при швартовке судов. Основное внимание уделяется развитию концепции фрактальных структур на базе модифицированного множества Кантора [4] в виде граф-

интерпретации исследуемых дефектов в рамках концепции динамической модели катастроф [5].

1. Контроль эксплуатационной прочности на основе фрактальной структуры, представленной множеством Кантора

Разработка алгоритмов контроля эксплуатационной прочности судна в широком спектре задач интерпретации исследуемых ситуаций в условиях неопределенности представляет собой одно из важных направлений повышения безопасности мореплавания [2]. Функциональные возможности графоаналитической системы расширены за счет использования различных интерпретаций исследуемых ситуаций на основе формального аппарата фрактального анализа в сочетании с энтропийным подходом.

Простейший вариант реализации представления динамики развития ситуации – множество Кантора [4]. Преобразование этого множества при оценке поведения судна методами теории катастроф связано с выбором структуры исходной модели взаимодействия. Формальная модель модифицированного множества Кантора в этом случае строится с использованием фрактальной структуры в зависимости от рассматриваемой задачи интерпретации. При этом отрезок единичной длины $(0,1)$ вещественной оси представляет собой исследуемый временной интервал $[t_1, t_2]$, разделенный на n равных частей и средняя из них – открытый интервал $(1/3)$ – вырезается. Далее операция повторяется для каждого из оставшихся отрезков. Получаем последовательность отрезков все убывающей длины. В отдельных случаях удобно использовать интервальное преобразование в соответствии с гипотезой квазистационарности [1]. На полученных таким образом отрезках строятся фрактальные структуры в виде относительной энтропии процесса по схеме, показанной на рис.1.

Множество Кантора является фракталом, который состоит из $N - 2n$ разделенных интервалами отрезков длиной $\varepsilon = (1/3)^n$. Фрактальная размерность структуры определяется как

$$\Phi_R(P) = n \ln 2 / n \ln 3 \approx 0,63. \quad (1)$$

В процессе моделирования ситуации на основе множества Кантора выделяются интервалы времени реализации ситуации в зависимости от физических закономерностей протекающих процессов и на отрезках множества осуществляется графическая интерпретация процесса с использованием фрактальных структур в рамках энтропийного анализа. В связи с неопределенностью решаемых задач такое представление формализуется в виде изменения относительной энтропии процесса:

$$\mathcal{E}^* = \mathcal{E}(t) / \mathcal{E}_0, \quad (2)$$

где $\mathcal{E}(t)$ и \mathcal{E}_0 – текущее и исходное значения энтропии исследуемого процесса. 2. Контроль эксплуатационной прочности при столкновении судов.

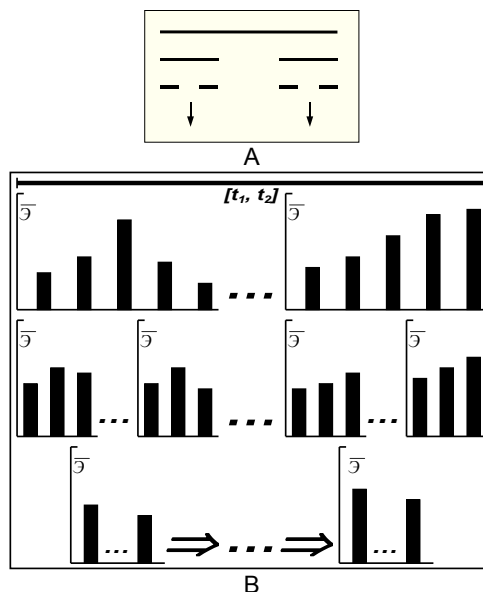


Рис.1. Общая (А) и модифицированная (В) структуры использования множества Кантора при интерпретации задач эксплуатационной прочности судна

Возрастание тоннажа и скоростей судов привели к значительному повышению интенсивности судоходства, что в свою очередь повлекло за собой увеличение количества морских аварий. Наибольшая опасность возникновения чрезвычайных ситуаций возникает в аварийных ситуациях при столкновении судов. Помимо прямого ущерба, связанного с разрушением корпусных конструкций и выводом судов из эксплуатации, столкновения приводят к утрате грузов, гибели судов и членов экипажей и часто к серьезным экологическим катастрофам [2].

Физические закономерности, определяющие столкновение судов, характеризуются многими факторами, среди которых следует выделить появление пробоин в бортах, разрушение форштевней, значительные остаточные деформации обшивки и набора корпуса. Основными факторами, влияющими на размеры повреждений при столкновении судов, являются конструктивные характеристики взаимодействующих судов, их водоизмещение и скорости во время столкновения, курсовой угол, расположение повреждения по длине судна. Наиболее опасными являются подводные пробоины, которые образуются при столкновении с судном, имеющим бульб. Применяемая мощная конструктивная защита борта приводит к дополнительным металлозатратам, увеличению веса и стоимости постройки корпуса судна. Низкая эффективность различных способов подкреплений привела к необходимости решения проблемы за счет изменения конструкции имеющихся бульбов с целью уменьшения размеров подводных повреждений [2].

Решение проблемы уменьшения последствий катастроф, связанных с столкновениями судов, оснащенных бульбами, достигнуто путем изменения конструкции носового бульба, продольная несущая способность которого ниже, чем несущая

щая способность бортовых перекрытий судов. Новая конструкция носовой бульбовой надделки имеет увеличенную продольную податливость, исключая появление подводных пробоин и, как следствие, повышающая безопасность мореплавания [2]. Этот эффект достигается путем выполнения наружной обшивки бульба в виде кольцевых гофр. Предлагаемая конструкция имеет конусообразную форму, содержит обтекатель и вставку, выполненную в виде гофров и подкрепленную бракетами, а гофры вставки в поперечном сечении имеют каплеобразную форму. При столкновении судов в контакт с подводной частью бортового перекрытия входит бульб, а в надводной части, по мере его деформирования, – верхняя часть форштевня. Так как податливость в продольном направлении бульба предлагаемой конструкции высока, то он деформируется при столкновении, оставляя бортовое перекрытие таранного судна в подводной части без пробоины. В этом случае кинетическая энергия движения судов гасится за счет разрушения надводных корпусных конструкций.

Теоретический анализ предлагаемого конструктивного решения выполнялся на основе следующего алгоритма оценки его эффективности для снижения последствий при столкновении судов

Шаг 1. Формулируется условие достижения сечением предельного состояния с учетом продольной силы:

$$M/M_0 = \pm [1 - [P/P_0]^2], \quad (4)$$

где $M(P)$ – изгибающий момент сечения балки; $M_0(P)$ – предельный момент сечения балки; P – продольная сила; P_0 – предельное значение продольной силы.

Шаг 2. Определяется величина предельной поперечной силы P_0 :

$$P_0 = \frac{2M_0}{h} = \frac{\sigma_T b t^2}{2h}. \quad (5)$$

где σ_T – предел текучести материала, $F=bt$ – площадь сечения балки, h – высота прямоугольного сечения.

Шаг 3. Корректируется величина предельной нагрузки, которую достигают все гофры одновременно. Предельная сила P_0 для всей гофрированной оболочки бульба таранного типа будет равна:

$$P_0 = \frac{\pi R \sigma_T t^2 b}{h}, \quad (6)$$

где R – радиус гофрированного элемента бульба.

Шаг 4. Устанавливается величина предельной продольной нагрузки бульба каплеобразного типа. В этом случае предельная сила P_0 для всей гофрированной оболочки бульба определяется величиной предельной нагрузки самой жесткой гофры:

$$P_0 = \frac{t^2 b \sigma_T}{2h} \int_0^l \sqrt{1 + [f'(x)]^2} dx, \quad (7)$$

где P_0 – предельная нагрузка на самую жесткую гофру; $f(x)$ – функция, описывающая форму бульба в самом жестком сечении; h – высота гофры в этом сечении.

Проведенные экспериментальные исследования несущей способности гофрированных бульбов и подводной части бортового перекрытия подтвердили результаты теоретических расчетов. Таким образом, анализ проблемы столкновения судов привел к поиску новых конструктивных решений, снижающих опасность последствий при обеспечении безопасности мореплавания. Реализация решения достигается за счет установки на судах бульбовых образований новой конструкции, позволяющей избежать подводных пробоин, уберечь судно от гибели и, следовательно, повысить безопасность эксплуатации судов промышленного флота.

Алгоритм контроля ситуации столкновения судов $S(\text{Crash})$ построен на основе концепции динамической модели катастроф, предусматривающей возникновение двух случаев взаимодействия:

$$S(\text{Crash}) \rightarrow S(\text{Stab}); \quad (8)$$

$$S(\text{Crash}) \rightarrow S(\text{Cat}), \quad (9)$$

где первый случай $S(\text{Stab})$ определяет условие сохранения прочности при соударении корпусов судов, а второй $S(\text{Cat})$ – потерю прочности при малой эффективности конструктивного решения.

2. Реализация множества Кантора при оценке влияния коррозионного износа корпуса

Фрактальный анализ коррозионного износа корпуса судна дает общее представление о динамике процесса и может быть использован на основе множества Кантора [4]. Основные требования практической реализации этого множества для аппроксимации и прогноза эксплуатационной прочности состоят в выполнении следующей аксиомы:

Аксиома 1: *Аппроксимация и прогноз динамической ситуации в задачах эксплуатационной прочности судна с помощью фрактального множества Кантора осуществляются в предположении монотонного характера исследуемого процесса на временных интервалах, исключенных из общей картины закономерностей процесса на временных отрезках, представленных в соответствии со стандартной структурой этого множества.*

Приведенная аксиома определяет последовательность преобразований информации о динамике процесса в рамках схемы, изображенной на рис.1. Если рассматривать приведенный поток информации как монотонно изменяющийся процесс на уровнях фрактальной структуры Кантора,

то требования аксиомы должны выполняться по отношению к вырезанным отрезкам на временной оси. Как показывает предварительный анализ, эти требования соблюдаются при исследовании язвенной коррозии – одного из наиболее распространенных видов эксплуатационных дефектов. Коррозионный износ корпуса представляет опасность как с точки зрения общей прочности корпусов судов как концентратор напряжений, так и с позиции местной прочности из-за существенных опасений повреждений обшивки внешними нагрузками, распределенными по ограниченной площади (нагрузки, близкие к сосредоточенным).

Практическая реализация результатов исследования коррозионного износа обшивки корпуса с помощью множества Кантора позволяет устанавливать минимальные толщины обшивки при коррозионном износе. При этом следует выполнить два важных следствия, вытекающие из приведенной аксиомы.

Следствие 1.1. Интенсивность коррозионного износа на первом уровне фрактальной структуры Кантора представляется в виде отображений общего характера коррозионного износа корпуса судна на временном интервале изменения эксплуатационной прочности судна. Последовательность отображений характеризует движение системы к целевому аттрактору, определяющему предельное состояние коррозионного износа на интервале реализации

$$t(Fr)_n \in t_i (i=1, \dots, n). \quad (3)$$

Следствие 1.2. Интенсивность коррозионного износа на втором и последующих уровнях фрактальной структуры Кантора представляется в виде отображений частного характера коррозионного износа корпуса судна на временных интервалах изменения эксплуатационной прочности судна. Последовательность отображений определяет состояние коррозионного износа на интервале реализации

$$t(Fr)_m \in t_j (j=1, \dots, m). \quad (4)$$

В результате использования интерпретаций (3) и (4) открывается возможность оценки восприятия локальных нагрузок для остаточной толщины обшивки корпуса судна в зоне нагружения. В практике эксплуатации судов имеют место случаи, когда при равномерном коррозионном износе корпуса наблюдаются отдельные глубокие язвы или группы язвин, которые по существующим нормам подлежат ремонту. Учет этих особенностей производится на основе рассмотренных особенностей фрактальных представлений. При этом рассматриваются процессы разрушения, связанные с обоснованием ограничения объемов ремонтных работ, обусловленных язвенной коррозией, либо их полного исключения из-за опасности нарушения местной прочности. Величина разрушающей нагрузки определяется минимальной толщиной обшивки в зоне нагружения. При этом важное значение имеет вопрос о размерах

зоны, в пределах которой сказывается влияние язвы на разрушение обшивки под действием внешней нагрузки при различных условиях ее приложения с учетом зоны, ослабленной язвенной коррозией. С целью изучения этого вопроса была проведена серия полунатурных экспериментальных исследований, обсуждение которых содержится в работе [2].

Проведение восстановительных работ в каждом конкретном случае коррозионного износа корпуса на основе данных фрактального множества Кантора ведется с учетом площади ремонтируемого района S и степени его поражения язвенной коррозией s/S . При $s = S$ ремонтируемый район полностью поражен язвенной коррозией и требует существенных изменений в структуре исследуемого фрактала

3. Реализация фрактального отображения влияния соударения при швартовке судов

Модель, определяющая физические закономерности процесса соударения при швартовке судов, может быть построена с помощью графоаналитической системы с использованием фрактальной геометрии. Дефекты в корпусе судна, появляющиеся при швартовке судов (вмятины, бухтины и др.) характеризуются определенным концентратором напряжений K_y , при условии, что

параметры дефектов не превышают допустимых пределов. Если эти дефекты находятся в достаточно напряженном районе, то в окрестности дефекта будут наблюдаться отдельные выбросы напряжений за нормативный уровень U . При этом, если параметры дефекта не превысили допустимых пределов, то на дальнейшую эксплуатацию судна не накладывается никаких ограничений. Тогда представляется возможным принять количество выбросов напряжений N_y в районе концентратора за фиксированный уровень в качестве нормативного в течение всего периода эксплуатации судна T_y , поскольку параметры дефекта (имеются в виду непрогрессирующие дефекты) не зависят от возраста судна.

При формулировке математической модели процесса образования дефектов в корпусе судна при проведении швартовых операций предполагается, что существующий процесс изменения напряжений в точке обшивки $\xi(t, x, y)$ будет трансформирован в процесс $K_y \xi(t, x, y)$ [2]. Новый уровень интерпретации процесса U определяется как

$$U_y = U / K_y, \quad (5)$$

где K_y – предельная величина коэффициента концентрации напряжений, соответствующая дефекту с параметрами, не превышающими нормативных ограничений.

При нормативном сроке T_y оценивается вероятность выхода рассматриваемого процесса за нормируемый уровень:

$$P\{V_{U_y}(T_y) = k\} = \frac{(\lambda T_y)^k}{k} e^{-\lambda T_y}, \quad (6)$$

где $k = 0, 1, 2, \dots$

Если же судно получило дефект со сверхнормативными параметрами на определенном году эксплуатации, коэффициент концентрации напряжений K_i будет больше, чем K_y и, следовательно, в этом случае в единицу времени количество выбросов за нормативный уровень напряжений U будет больше как по числу, так и по величине.

Оценка вероятности выхода процесса за нормативный уровень с учетом (6) приводит к следующему результату:

$$P\{V_{U_i}(T_i) = k\} = \frac{(\lambda T_i)^k}{k} e^{-\lambda T_i}. \quad (7)$$

Вероятности, определяемые уравнениями (6) и (7), должны быть равны

$$P\{V_{U_i}(T_i) = k\} = P\{V_{U_y}(T_y) = k\}, \quad (8)$$

что справедливо при любом k , тогда величина

$$T_i = T_y \exp\left[\frac{(U_i - m)^2 - (U_y - m)^2}{2\sigma_0^2}\right]. \quad (9)$$

Таким образом, изложенный в работе [2] подход позволяет продлевать срок эксплуатации судов при наличии дефектов, параметры которых превышают нормативные ограничения. Графическая интерпретация вероятностной схемы (5) – (9) в рамках динамической модели катастроф приводит к использованию фрактальной геометрии на основе следующей аксиомы:

Аксиома 2: *Аппроксимация и прогноз динамических ситуаций в задачах оценки влияния соударения при швартовке судов с помощью фрактальной геометрии осуществляются в предположении скачкообразного характера исследуемого процесса в виде эллиптической структуры с учетом уклона большой оси эллипса, аппроксимирующего бухтину, с максимальной стрелкой прогиба на временном интервале в соответствии со стандартной структурой эллиптического множества.*

Аксиома 2 определяет последовательность преобразования информации о динамике процесса образования дефектов соударения при швартовке судов на основе разработанной схемы преобразования информации. Поток информации рассматривается как скачкообразный процесс на уровнях фрактальной эллиптической структуры. Требования аксиомы в этом случае должны выполняться по отношению к фиксированным точкам, определяющим движение системы на заданной временной оси. Эти требования соблюдаются при исследовании эксплуатационных дефек-

тов, вызванных операцией швартовки судов. Практическая реализация результатов выполненных исследований этой операции позволяет устанавливать минимальные размеры поврежденных элементов корпусных конструкций при швартовке судов в морских условиях [2]. При этом следует выполнить два важных следствия, вытекающие из приведенной аксиомы.

Следствие 2.1. Эксплуатационные дефекты при швартовке судов на уровне эллиптической структуры представляются в виде отображений общего характера деформаций корпусных конструкций на временном интервале изменения эксплуатационной прочности судна. Последовательность отображений характеризует движение системы к целевому аттрактору, определяющему предельное состояние дефекта на интервале реализации

$$\text{Def}(Fr)_i \in t_i (i=1, \dots, n). \quad (10)$$

Следствие 2.2. Интенсивность эксплуатационных дефектов при швартовке судов на уровнях эллиптической структуры представляется в виде отображений частного характера повреждений корпуса судна на временных интервалах изменения эксплуатационной прочности судна. Последовательность отображений определяет состояние коррозионного износа на интервале реализации

$$\text{IntDef}(Fr)_m \in t_j (j=1, \dots, m). \quad (11)$$

В результате использования интерпретаций (10) и (11) открывается возможность оценки восприятия локальных нагрузок при швартовке судов при различном уровне действующих напряжений в элементах корпусных конструкций в зоне нагружения.

4. Фрактальное отображение влияния истории нагружения пластин корпуса судна при упруго-пластических деформациях

Более сложная структура фрактальной интерпретации реализуется в задаче контроля эксплуатационной прочности при развитой упруго-пластической деформации. Прогноз прогрессирующих дефектов в этом случае ведется на основе интеграции фрактальных структур, реализующих множество Кантора и множества, определяющего «скачок» изменения процесса деформации.

Физические особенности задачи определяют условиями приспособляемости элементов корпусных конструкций при восприятии многократных нагрузок. Такие нагрузки определяют процесс накопления прогибов и поля напряжений. После нагружения пластины в упруго-пластической стадии в материале остается некоторое остаточное поле напряжений. Если это поле под действием различных факторов изменяется или исчезает, то последующий процесс нагружения вызывает прирост остаточного прогиба и

изменение остаточного поля напряжений между циклами нагружения.

Физическая картина процесса преобразования информации при восприятии многократных нагрузок представлена на рис.2.

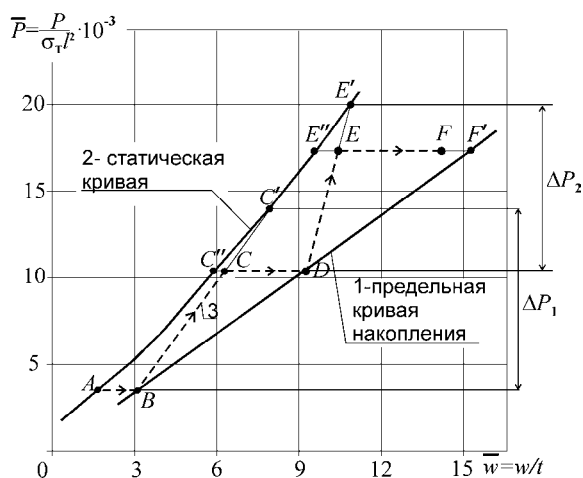


Рис.2. Процесс преобразования информации при восприятии многократных нагрузок

Здесь кривая 1 характеризует однократную статическую деформацию пластины, а кривая 2 – результат предельного накопления. Пунктирная кривая 3 иллюстрирует путь деформации пластины для различных случаев нагружения. Из рисунка видно, что переход от первого случая деформации АВ ко второму CD не снимает полностью эффект накопления. Для его снятия необходимо приложить нагрузку ΔP_1 , что обеспечивает переход на статическую кривую 1 в точке C'. Аналогичная ситуация наблюдается при переходе от второго случая нагружения к третьему, где эффект накопленного прогиба полностью не снимается, поскольку требуется приложение нагрузки ΔP_1 для выхода в точку E'. Траектория деформации при переходе от первого случая ко второму и от второго к третьему имеет различные углы наклона к горизонтальной оси, что связано с упрочнением материала корпусной конструкции.

Графическая интерпретация схемы восприятия многократных нагрузок в рамках динамической модели катастроф приводит к использованию фрактальных структур на основе следующей аксиомы:

Аксиома 3: Аппроксимация динамических ситуаций в задачах оценки влияния многократного нагружения с помощью фрактальной геометрии осуществляется в предположении скачкообразного характера исследуемого процесса в виде интеграции множества Кантора и фрактальной геометрии, отображающей явление «скачка» на рассматриваемом временном интервале.

Аксиома 3 определяет последовательность преобразования информации о динамике процесса накопления деформаций при многократном нагружении пластины в рамках схемы, изображенной на рис.2. Приведенный поток информа-

ции рассматривается как чередование последовательного и скачкообразного процессов на различных уровнях фрактальной структуры. Требования аксиомы в этом случае должны выполняться по отношению к фиксированным точкам, определяющим движение системы на временной оси с учетом явления «скачка». Эти требования соблюдаются при исследовании эксплуатационных дефектов, вызванных многократными нагрузками.

5. Практическая реализация фрактального отображения влияния истории нагружения при упруго-пластических деформациях

Практическая реализация результатов выполненных исследований [2] позволяет классифицировать элементы корпусных конструкций в зависимости от условий нагружения. При этом необходимо выполнить два важных следствия, вытекающих из приведенной аксиомы.

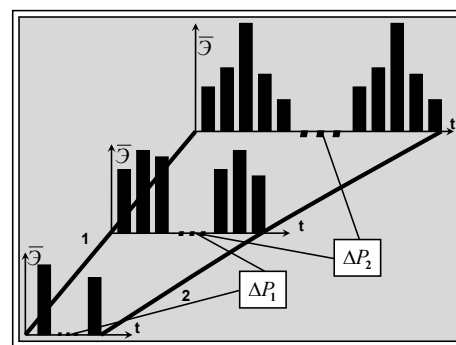


Рис.3. Движение системы к целевому аттрактору (1) и на участке возникновения «скачка» (2) в рамках модифицированной модели множества Кантора

Следствие 3.1. Накопление прогибов в пластине при различных случаях нагружения в рамках динамической модели катастроф представляется в виде модифицированного множества Кантора на временном интервале изменения эксплуатационной прочности судна. Последовательность отображений характеризует движение системы к целевому аттрактору, определяющему предельное состояние корпусной конструкции на интервале реализации n

$$(Fr)_{CR} \in t_i (i=1, \dots, n), \quad (12)$$

Следствие 3.2. Интенсивность эксплуатационных дефектов в состоянии прогрессирующего разрушения представляется в виде скачкообразных переходов фрактальных отображений на временных интервалах изменения эксплуатационной прочности судна. Последовательность отображений определяет состояние конструкции при многократном нагружении на интервале реализации m

$$\text{Cond}(Fr)_{CR} \in t_j (j=1, \dots, m). \quad (13)$$

В результате использования интерпретаций (12) и (13) открывается возможность оценки вос-

приятия динамических нагрузок в элементах корпусных конструкций.

На рис.3 иллюстрируется применение фрактальной геометрии при реализации условий (12) и (13), определяющих аксиому 3.

Заключение

В результате проведенного исследования динамики взаимодействия при контроле эксплуатационной прочности в процессе коррозионного износа корпуса, при швартовке судов и многократных нагружениях корпусных конструкций:

– осуществлен синтез графоаналитической системы на основе множества Кантора, обеспечивающей контроль прочности судна при коррозионном износе корпуса в условиях эксплуатации на заданном интервале времени;

– разработано графоаналитическое решение проблемы швартовки судов в морских условиях и предложен алгоритм контроля ситуации на основе данных наблюдений и методов статистического анализа;

– проведено моделирование прочности корпусных конструкций при многократном нагружении в условиях различной интенсивности действующих нагрузок, результаты которого использованы при построении модифицированной модели множества Кантора.

Таким образом, на основе разработанной интеллектуальной технологии предложен подход и методология мониторинга эксплуатационной прочности, позволяющая повысить эффективность использования промысловых судов в сложных условиях эксплуатации.

Литература

1. Бортовые интеллектуальные системы [Текст]. В 2 ч. Ч. 2. Корабельные системы.– М.: Радиотехника, 2006.
2. Бураковский Е.П. Эксплуатационная прочность корпусов промысловых судов: Учеб. пособие [Текст] / Е.П. Бураковский, П.Е. Бураковский, Ю.И. Нечаев, В.П. Прохнич.– СПб.: Арт-Экспресс, 2012.
3. Бураковский Е.П. Графоаналитическая система контроля эксплуатационной прочности судов промыслового флота на основе современной теории катастроф [Текст] / Е.П. Бураковский, П.Е. Бураковский, Ю.И. Нечаев, В.П. Прохнич // Морские интеллектуальные технологии. 2014. № 1 (23). Т. 2. С. 15–21.
4. Кронновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах [Текст] / Р.М. Кронновер. – М.: Постмаркет, 2000.
5. Нечаев Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений [Текст] / Ю.И. Нечаев.– СПб.: Арт-Экспресс, 2011.
6. Системы искусственного интеллекта в интеллектуальных технологиях XXI века [Текст] / Под ред. Ю.И. Нечаева.– СПб.: Арт-Экспресс, 2011.
7. Zadeh L. Fuzzy logic, neural networks and soft computing [Text] / L. Zadeh // Commutation on the ASM. 1994. Vol. 37, № 3. P. 77–84.

References

1. Bortovye intellektual'nye sistemy. V 2 ch. Ch. 2. Korabel'nye sistemy. Moscow, Radiotekhnika, 2006.
2. Burakovskiy E.P., Burakovskiy P.E., Nechaev Yu.I., Prokhnich V.P. Jekspluatacionnaja prochnost' korpusov promyslovyh sudov: uchebnoje posobie. Sankt-Petersburg, Art-Jekspress, 2012.
3. Burakovskiy E.P., Burakovskiy P.E., Nechaev Yu.I. & Prokhnich, V.P. (2014). Grafoanaliticheskaja sistema kontrolja jekspluatacionnoj prochnosti sudov promysloвого flota na osnove sovremennoj teorii katastrof. Morskie intellektual'nye tehnologii, №1(23),15-21.
4. Kronnover R.M. Fraktaly i haos v dinamicheskikh sistemah. Moscow, Postmarket, 2000.
5. Nechaev Yu.I. Teorija katastrof: sovremennyj podhod pri prinjatii reshenij. Sankt-Petersburg, Art-Jekspress, 2011.
6. Sistemy iskusstvennogo intellekta v intellektual'nyh tehnologijah XXI veka (Pod red. Yu.I. Nechaeva). Sankt-Petersburg, Art-Jekspress, 2011.
7. Zadeh L. Fuzzy logic, neural networks and soft computing [Text] / L. Zadeh // Commutation on the ASM. 1994. Vol. 37, № 3. P. 77–84.

УДК 621.311

СУДОВАЯ ЕДИНАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА БЕЗ СОГЛАСУЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ЦЕПИ ПИТАНИЯ ГРЕБНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Калмыков Андрей Николаевич, кандидат технических наук,
заместитель руководителя научно-исследовательской части
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: kan@smtu.ru

Сеньков Алексей Петрович, доктор технических наук, профессор
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: senkov@smtu.ru

Кузнецов Виктор Иванович, инженер филиала «ЦНИИ «СЭТ»
ФГУП «Крыловский государственный научный центр»
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: kuznetsov-spb@bk.ru

Пресняков Андрей Анатольевич, начальник сектора
ОАО "ЦКБ "Айсберг"
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: main@iceberg.sp.ru

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрен вариант построения единой электроэнергетической системы (ЕЭЭС), обладающей по сравнению с типичной ЕЭЭС большим КПД, меньшими габаритами и массой, а также сниженным расходом топлива при эксплуатации. Повышение характеристик ЕЭЭС достигается за счет исключения согласующего трансформатора из состава гребной электрической системы, а также путем применения для питания гребного электродвигателя преобразователя частоты на базе многоуровневого автономного инвертора напряжения. В составе судовой электростанции судна применяются шестифазные синхронные генераторы, а в главном распределительном щите располагаются две шестифазные шины переменного тока. В рассмотренном варианте ЕЭЭС питание потребителей собственных нужд производится от трансформаторов с вращающимся магнитным полем, которые обеспечивают преобразование уровня напряжения судовой электростанции судна в требуемый уровень для потребителей собственных нужд, а также преобразование шестифазной системы переменного тока в трехфазную.

Ключевые слова: шестифазный синхронный генератор, трансформатор с вращающимся магнитным полем, многоуровневый инвертор напряжения.

SHIP UNIFIED ELECTRICAL POWER SYSTEM WITHOUT MATCHING TRANSFORMERS IN THE SUPPLY OF ELECTRIC PROPELLER

Kalmykov Andrey Nikolaevich, PhD, deputy head of research part,
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia
E-mail: kan@smtu.ru

Sen'kov Aleksey Petrovich, professor, Dr.Sci.Tech
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia
E-mail: senkov@smtu.ru

Kuznetsov Viktor Ivanovich, engineer branch
 The Ship Electric Engineering & Technology Institute
 Sankt-Petersburg, Russia
 E-mail: kuznetsov-spb@bk.ru

Presnyakov Andrey Anatol'evich, head of sector
 Central Design Bureau Iceberg
 Sankt-Petersburg, Russia
 E-mail: main@iceberg.sp.ru

ABSTRACT

In the article considers the version of the construction of unified power system (UPS) as compared with a typical UPS having a higher efficiency, a smaller dimensions and weight as well as a reduced fuel consumption in the process of operating. Enhancing characteristics of the UPS are achieved by eliminating of the matching transformer from the rowing electrical system, and by applying for powering of the propulsion motor a frequency converter based on a autonomous multi-level voltage inverter. As part of the ship power plant vessel are used a six-phase synchronous generators, and in the main switchboard are located a two six-phase AC bus. In the above embodiment of the UPS, the powering to the consumers own needs are produced by a transformers with a rotating magnetic field, which provide conversion a level of the Ship Power Vessel voltage into the required level for the consumers own needs, and also the conversion of the six-phase AC system into the three-phase AC system.

Key words: Six-phase synchronous generator, transformer with a rotating magnetic field, multi-level voltage inverter.

Введение

В настоящее время системы электродвижения (СЭД) широко применяются в судостроении зарубежных стран и России. По сравнению с традиционными пропульсивными комплексами СЭД обладают рядом преимуществ, среди которых следует выделить:

- повышение надежности судовой электроэнергетической установки (СЭЭУ) и пропульсивного комплекса;
- улучшение маневренности судна;
- повышение КПД энергетической установки в долевых режимах;
- снижение эксплуатационных расходов;
- уменьшение сроков ремонтных работ;
- возможность более рационального размещения оборудования на судне.

1. Типичная структура ЕЭЭС

В процессе развития СЭД разработана типичная схема единой электроэнергетической системы (ЕЭЭС), которая применяется судостроителями на судах различного назначения. На рисунке 1, представлена схема ЕЭЭС малого гидрографического судна «Вайгач» проекта 19910, разработанная ФГУП «ЦНИИ СЭТ» [1]. По аналогичной схеме построены ЕЭЭС на пассажирских судах «Norwegian Epic», «Costa Victoria», «Fram», паромах «Schleswig-Holstein», «Deutschland», «Teisten», танкерах «Михаил Ульянов», «Кирилл Лавров», и на многих других судах. В схеме по рисунку 1, гребная электрическая установка (ГЭУ) и потребители собственных нужд (ПСН), получают питание от одной судовой электростанции судна (СЭС). ГЭУ судна запитываются от син-

хронных генераторов (СГ) через трехобмоточный согласующий трансформатор (Т), который формирует две системы трехфазных напряжений, имеющих сдвиг фаз в 30 электрических градусов, необходимых для работы 12-пульсного выпрямителя, входящего в состав преобразователя частоты (ПЧ). В магнитной системе согласующего трансформатора компенсируются 5-я и 7-я гармонические составляющие, что позволяет повысить качество напряжения на шинах главного распределительного щита (ГРЩ) и на входе автономного инвертора напряжения (АИН) преобразователя частоты. ПЧ на базе двухуровневого АИН, осуществляет регулирование частоты вращения гребного электродвигателя (ГЭД). В качестве ГЭД применяется асинхронный электродвигатель (АД).

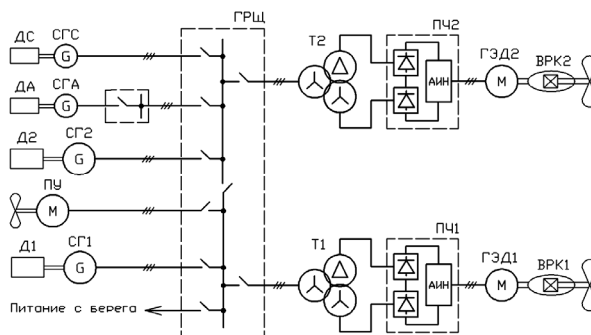


Рис. 1. Схема ЕЭЭС судна «Вайгач» (ФГУП «ЦНИИ СЭТ»)

2. Недостатки судов с системами электродвижением

Одной из проблем при эксплуатации судов с системой электродвижения является большие эксплуатационные расходы. СЭД по сравнению с традиционными пропульсивными комплексами обладает меньшим КПД, что ведет к увеличению расходов на топливо. Снижение потерь в СЭД будет содействовать дальнейшему расширению области применения на судах ГЭУ. На судах с СЭД основным потребителем электроэнергии является ГЭУ. Поэтому целесообразно строить ЕЭЭС таким образом, чтобы минимизировать число преобразований электроэнергии от судовой электростанции к гребному электродвигателю. В схеме типичной ЕЭЭС, изображенной на рисунке 1, повышение КПД ГЭУ может быть достигнуто, за счет исключения согласующего трансформатора, расположенного на линии питания ГРЩ – ПЧ [2, 3]. При этом существует возможность при изменении структуры ЕЭЭС не только не снизить качество напряжения питания ГЭД и ПСН по сравнению с качеством напряжения в типичной ЕЭЭС, но и повысить его.

Повышение качества напряжения питания важно не только для надежного функционирования ГЭУ и судовых потребителей, но также и для снижения потерь, прежде всего в ГЭД. Питание ГЭД осуществляется от ПЧ, в выходном напряжении которого содержится не только основная гармоника, но и гармоники более высокого порядка. Наличие высокочастотных гармоник в спектре тока, протекающего в фазах ГЭД, ведет к увеличению потерь в обмотках и магнитопроводе. Высокие потери в ГЭД приводят к снижению КПД и повышенному нагреву электрической машины, что снижает срок ее службы, а также повышают эксплуатационные расходы. Расчет потерь в магнитопроводе электрической машины на вихревые токи и на гистерезис, производится по выражению [4]:

$$P_{ст.осн} = p_{1,0/50} \cdot \left[\frac{f_1}{50} \right]^\beta \cdot (k_{да} \cdot B_a^2 \cdot m_a + k_{дз} \cdot B_{зс}^2 \cdot m_{z1})$$

где β и $p_{1,0/50}$ - удельные потери в материале магнитопровода, Вт/кг;

f_1 - частота приложенного напряжения;

$k_{да}$ и $k_{дз}$ - коэффициенты, учитывающие влияние на потери в стали неравномерности распределения магнитного потока;

B_a и $B_{зср}$ - индукция в ярме, и средняя индукция в зубцах статора, Тл;

m_a и m_{z1} - масса стали ярма и зубцов статора, кг.

В типичной ЕЭЭС, схема которой приведена на рисунке 1 питание ГЭД осуществляется от двухуровневого инвертора. Одним из эффективных способов улучшения гармонического состава тока в электрических машинах, получающих пи-

тание от преобразователей частоты, является применение преобразователей частоты на базе многоуровневых автономных инверторов напряжения [5]. На рисунке 2 представлена схема силовой части преобразователя частоты на базе трехуровневого инвертора напряжения.

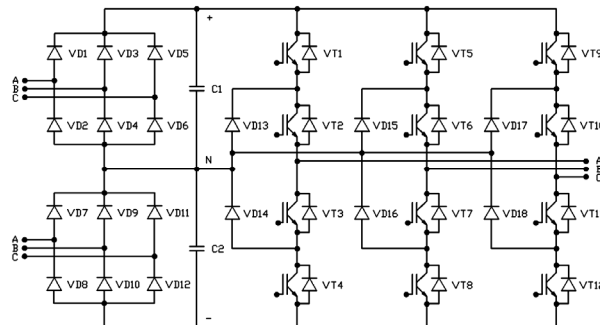


Рис. 2. Силовая часть ПЧ на базе 3-уровневого АИН

Естественно, что в схеме трехуровневого АИН содержится большее количество IGBT-транзисторов, чем в схеме двухуровневого инвертора, но качество напряжения на выходе трехуровневого АИН значительно выше.

Оценка влияния качества напряжения питания на потери в магнитопроводе электрической машины была проведена на модели ПЧ и ГЭД в пакете MatLab Simulink. В качестве ГЭД в модели использован АД типа АДР-550-4, который применен в СЭД судна «Вайгач». На основе гармонического анализа тока в фазах ГЭД, полученного в результате моделирования, и расчета потерь в магнитопроводе, получены результаты, которые сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Наименование параметра	Способ питания ГЭД		
	Идеальный источник напряжения	ПЧ на базе 2-уровневого АИН	ПЧ на базе 3-уровневого АИН
1 Суммарный коэффициент гармонического состава составляющих тока, %	0,00	6,09	3,22
2 Потери, %	100,00	156,13	113,50

Из таблицы 1 следует, что качество напряжения на выходе трехуровневого АИН выше, чем на выходе двухуровневого АИН, за счет чего потери в АД существенно снижаются. Применение в ПЧ многоуровневых инверторов – реальный путь повышения КПД ГЭУ.

Для функционирования многоуровневых инверторов, работающих на ГЭД большой мощности, необходимы гальванически не связанные источники постоянного тока, которые обычно получают с помощью согласующих трансформаторов, имеющих несколько трехфазных вторичных обмоток, напряжения с которых подается на соот-

ветствующее число выпрямителей. Однако применение согласующих трансформаторов между ГРЩ и ПЧ, в которых неизбежны потери, не позволит повысить общий КПД ГЭУ за счет применения многоуровневых инверторов. Для реально повышения КПД ГЭУ необходимо найти структуру ЕЭЭС, в которой был бы исключен согласующий трансформатор, и при этом было можно использовать многоуровневые инверторы.

3. Судовая ЕЭЭС без согласующих трансформаторов

На рисунке 3 приведена схема ЕЭЭС без согласующего трансформатора в цепи питания ГЭД, в котором в составе ПЧ используется трехуровневый инвертор напряжения [6].

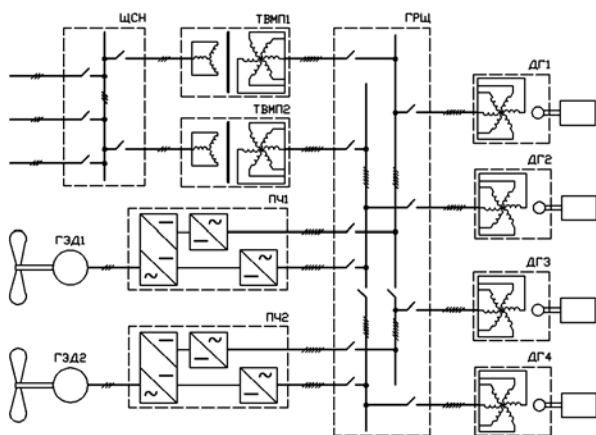


Рис. 3. Судовая ЕЭЭС без согласующих трансформаторов в цепи питания ГЭД

В схеме по рисунку 3, ГРЩ содержит две изолированные шестифазные шины, к которым подключаются шестифазные синхронные генераторы. В составе каждого ПЧ используются по два 12-пульсных выпрямителя, входы которых подключаются к различным линиям ГРЩ. В результате на выходе выпрямителей ПЧ получаются два гальванически не связанных постоянных напряжения высокого качества, необходимых для работы трехуровневого инвертора.

Для питания общесудовых потребителей многофазные напряжения с линий ГРЩ поступают на многофазную первичную обмотку трансформаторов с вращающимся магнитным полем (ТВМП), которые преобразуют многофазную систему напряжений в стандартную трехфазную. При необходимости ТВМП также могут изменить уровень напряжения. Вторичные обмотки ТВМП подключаются к трехфазной линии щита общесудо-

вых потребителей (ЩСП). Перед подключением вторичных обмоток ТВМП на линию ЩСП пары генераторов, подключенных к различным линиям ГРЩ, нужно синхронизировать. Синхронизацию генераторов можно осуществить с помощью ТВМП.

Недостатком известных конструкций ТВМП является наличие воздушного зазора в цепи магнитопровода, из-за которого снижается КПД и коэффициент мощности ТВМП. Для исключения воздушного зазора в цепи магнитопровода ТВМП были разработаны конструкции ТВМП, в которых этот недостаток отсутствует [7, 8]. Следует отметить, что ТВМП с помощью укорочения шага и распределения обмоток по пазам магнитопровода позволяют существенно улучшить качество напряжения на вторичной обмотке по сравнению с качеством напряжения на первичной обмотке.

В схеме ЕЭЭС на рисунке 3 число шин в ГРЩ увеличится по сравнению с одной трехфазной линией ГРЩ. Но токи в отдельной шине двухлинейного ГРЩ соответственно уменьшатся. Поэтому увеличение числа линий и шин в ГРЩ не приведет к существенному увеличению массы и габаритов ГРЩ. Кроме того снижение токов в шинах ГРЩ облегчит выбор автоматических выключателей, особенно для ЕЭЭС большой мощности.

Таким образом, схема ЕЭЭС, приведенная на рисунке 3, позволяет создать более эффективную электроэнергетическую систему судна. В рассмотренной выше схеме повышение КПД ЕЭЭС обеспечивается за счет исключения согласующего трансформатора из линии питания ГЭД и применения трехуровневого инвертора в составе преобразователя частоты. Кроме того применение ТВМП позволяет повысить качество напряжения питания общесудовых потребителей.

Выводы

1. Исключение трансформаторов из линии питания судовая электростанция – гребной электродвигатель, позволяет повысить КПД электроэнергетической системы судна.
2. Применение многоуровневых автономных инверторов напряжения позволяет снизить потери в гребном электродвигателе, что позволяет повысить КПД ГЭУ судна и снизить расходы топлива при эксплуатации судна.
3. Применение ТВМП обеспечивает повышение качества напряжения питания общесудовых потребителей.

Литература

1. Григорьев А. В., Глеклер Е.А., Улитовский Д.И. Результаты ходовых испытаний единой электроэнергетической установки малого гидрографического судна «Вайгач» // Судостроение, 2008, № 1, с. 33–35.
2. Калмыков А.Н., Кузнецов В.И., Сеньков А.П., Токарев Л.Н. Судовые бестрансформаторные гребные электрические установки // Морской вестник №1(45), 2013, с. 40–42.

3. *Калмыков А.Н., Сеньков А.П., Кузнецов В.И., Сеньков А.А.* Многолинейные судовые единые электроэнергетические системы на основе многофазных синхронных генераторов // Морской вестник. Специальный выпуск. 2013, № 2(11), с. 21–24.

4. *Копылов И.П.* Проектирование электрических машин. – Москва: Изд-во Энергия, 1980. 488 с.

5. *Лихошерст В.И.* Полупроводниковые преобразователи электрической энергии с импульсным регулированием. Учеб. пособие. – Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ, 2002. 166 с.

6. Патент РФ №2529090, Судовая электроэнергетическая установка / Калмыков А.Н., Кузнецов В.И., Сеньков А.П., 27.09.2014.

7. Патент РФ №2486620, Трансформатор с вращающимся магнитным полем и способ его сборки (варианты) / Калмыков А.Н., Сеньков А.А., Сеньков А.П., БИ 2013, №18.

8. Патент РФ №2500051, Многофазный трансформатор и способ его сборки / Калмыков А.Н., Сеньков А.А., Сеньков А.П., 27.11.2013.

References

1. *Grigor'ev A. V., Glekler E.A., Ulitovskiy D.I.* Rezul'taty khodovykh ispytaniy edinoy elektroenergeticheskoy ustanovki malogo gidrograficheskogo sudna «Vaygach». Sudostroenie, №1, 2008, 33–35.

2. *Kalmykov A.N., Kuznetsov V.I., Senkov A.P., Tokarev L.N.* Sudovye bestransformatornye grebnye elektricheskie ustanovki. Morskoy vestnik, №1(45), 2013, 40–42.

3. *Kalmykov A.N., Senkov A.P., Kuznetsov V.I., Sen'kov A.A.* Mnogolineynye sudovye edinye elektroenergeticheskie sistemy na osnove mnogofaznykh sinkhronnykh generatorov. Morskoy vestnik. Spetsial'nyy vypusk, № 2(11), 2013, 21–24.

4. *Kopylov I.P.* Proektirovanie elektricheskikh mashin. Moskva, 1980. 488 p.

5. *Likhosherst V.I.* Poluprovodnikovye preobrazovateli elektricheskoy energii s impul'snym regulirovaniem. Ekaterinburg, 2002. 166 p.

6. *Kalmykov A.N., Kuznetsov V.I., Senkov A.P.* Sudovaya elektroenergeticheskaya ustanovka. Patent RF № 2529090, 27.09.2014.

7. *Kalmykov A.N., Senkov A.A., Senkov A.P.* Transformator s vrashchayushchimsya magnitnym polem i sposob ego sborki (varianty). Patent RF №2486620, BI 2013, №18.

8. *Kalmykov A.N., Senkov A.A., Senkov A.P.* Mnogofaznyy transformator i sposob ego sborki. Patent RF №2500051, 27.11.2013.

УДК 629.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВАТЕРЛИНИИ НА ОСТОЙЧИВОСТЬ ЭСКОРТНЫХ БУКСИРОВ

Рудольф Васильевич Борисов, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры теории корабля
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: rvborisov@mail.ru

Дмитрий Александрович Вирцев, аспирант кафедры теории корабля
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: osmos@bk.ru

Александр Альфредович Лузянин, кандидат технических наук,
доцент кафедры теории корабля
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: osmos@bk.ru

Кирилл Александрович Сидоров, студент
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: kirsidorov@yandex.ru

Эскортная буксировка танкеров – это аварийный прием. Сопровождающий буксир повышает возможность избежать серьезных повреждений в случаях, когда на сопровождаемом танкере возникают технические затруднения и когда необходимо обеспечить управляемость и маневренность при прохождении узкостей и поворотов в ограниченном фарватере.

Вследствие особенностей эксплуатации эскортные буксиры могут попасть в ситуации, когда они расположены лагом к направлению тяги буксировочного троса. При этом часто происходят аварии вследствие потери остойчивости под действием быстро обтягиваемого буксирного троса. Все явление опрокидывания происходит настолько стремительно, что в большинстве случаев оказывается невозможным ему воспрепятствовать. Поэтому случаи «рывка» буксирного троса подлежат особенно тщательному рассмотрению.

Когда буксир движется с относительно высокой скоростью под углом, близким к прямому по отношению к спутной струе танкера, образуется "динамическая ватерлиния", которая может повлиять на характеристики остойчивости буксира, а следовательно, на вероятность опрокидывания. Эта ватерлиния характерна тем, что у встречного к направлению движения борта образуется подъем воды, на противоположном борту – впадина.

Влияние такой "динамической ватерлинии" на остойчивость пока полностью не изучено, поэтому было принято решение провести буксировочные испытания схематизированной модели эскортного буксира в опытовом бассейне СПбГМТУ.

По результатам испытаний можно сделать следующие выводы:

- влияние угла динамической ватерлинии может быть значительным, поэтому при нормировании остойчивости эскортных буксиров его необходимо обязательно учитывать;
- плечо диаграммы статической остойчивости буксира при наличии динамической ватерлинии уменьшается;

Чтобы установить влияние формы корпуса буксира на величину угла динамической ватерлинии, в дальнейшем необходимо проводить дополнительные исследования.

Ключевые слова: эскортная буксировка, буксир, статическая остойчивость, динамическая ватерлиния, опытовый бассейн.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF THE DYNAMIC WATERLINE ON THE STABILITY OF THE ESCORT TUGS

Borisov Rudol'f Vasil'evich, Dr.Sci.Tech.,
the professor of department of theory of the ship
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia
E-mail: rvborisov@mail.ru

Virtsev Dmitriy Aleksandrovich,
post-graduate student of department of theory of the ship
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia
E-mail: osmos@bk.ru

Luzyanin Aleksandr Al'fredovich, candidate of technical science,
assistant professor of department of theory of the ship
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia
E-mail: osmos@bk.ru

Sidorov Kirill Aleksandrovich, student
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia
E-mail: kirsidorov@yandex.ru

ABSTRACTS

Escort towing tankers - is an emergency appointment. Accompanying tugboat raises the possibility of avoiding serious injury when the accompanying tanker and technical difficulties arise when it is necessary to provide controllability and maneuverability in the narrow passages and turns in confined waterway.

Due to the nature of operation escort tugs can get into a situation where they are located along to the direction of pull of the rope. These accidents often occur due to the loss of stability under the influence of fast glue towline. All capsizing phenomenon occurs so rapidly that in most cases it is impossible to prevent it. Therefore, cases of "jerk" towline need to be particularly careful considered.

When the tugboat is moving at a relatively high speed at an angle close to the right relative to the slipstream of tanker, the "dynamic water-line" appears, which may affect the stability of the tug characteristics, and hence the likelihood of overturning. This waterline is characterized by the fact that counter to the direction of motion of the bead is formed rise of water, on the opposite side - depression.

The effect of such "dynamic waterline" on stability have not been fully studied, so it was decided to tow tests on schematized model of escort tug in the towing tank of State **marine technical university**.

On results tests it is possible to do next conclusions: - influence of angle of dynamic water-line can be considerable, therefore at setting of norms of stability of escort tugs he must be necessarily taken into account; - the shoulder of diagram of static stability of tug at presence of dynamic water-line diminishes: To set influence of form of corps of tug on the size of angle of dynamic water-line, in future it is necessary to conduct additional researches.

Key words: escort towing, tugs, static stability, dynamic water-line, towing tank.

В последние годы произошло несколько аварий танкеров, спровоцировавших серьезные разливы нефти с катастрофическими последствиями для окружающей среды. Это вызвало усиление требований к повышению безопасности транспортировки нефти морем. Некоторые аварии возникли из-за отказов рулевых устройств или двигателей в момент нахождения судна вблизи берега.

Одним из средств предотвращения таких рискованных ситуаций является эскортная буксировка на фарватерах, ограниченных по глубине и ширине. Сопровождающий (эскортный) буксир повышает возможность избежать серьезных повреждений в случаях, когда на сопровождаемом танкере возникают технические затруднения. Обычно сопровождающий буксир следует на бук-

сире за кормой танкера, не мешая его движению; однако, в случае аварии он должен иметь возможность действовать немедленно по сигналу с танкера.

Кроме того, на большинстве танкеров и других крупнотоннажных судах с уменьшением скорости хода ухудшается управляемость. При скоростях ниже 4-6 узлов маневренность таких судов почти утрачивается. Из-за этого танкерам приходится поддерживать скорость хода не менее 6 узлов даже на сложных входных фарватерах со многими поворотами и узкостями. С другой стороны, оптимальной экономической скоростью хода для танкера является та максимальная скорость, которая разрешена в данной конкретной акватории, или, если ограничений скорости не установлено, максимальная

скорость, при которой обеспечена безопасность движения; часто эта скорость составляет 10-12 узлов. Эскортный буксир должен не только позволять сопровождаемому судну развивать требуемую скорость хода, но также, при необходимости, обеспечивать безопасное и эффективное торможение и управление рулем.

Часто сами нефтяные компании заказывают эскортирование, но в некоторых районах эскортная буксировка является обязательной.

До недавнего времени конкретных требований относительно остойчивости эскортных буксиров сформулировано не было. В 1996 г. норвежское классификационное общество "Det Norske Veritas (DnV)" представило специальные правила для эскортных судов, введя и условное обозначение «Эскортное судно». В основном, эти правила касаются безопасности и достаточной остойчивости эскортных буксиров. С 1997 г. в заливе Сан-

Франциско также установлены требуемые буксировочные усилия, прилагаемые к буксирному тросу и развиваемые буксиром – их предельная величина зависит от размера эскортируемого танкера и конкретных условий погоды.

Практика показывает, что аварии буксирных судов вследствие потери остойчивости почти исключительно происходят под действием быстро обтягиваемого буксирного троса [1].

Когда буксир движется с относительно высокой скоростью под углом, близким к прямому по отношению к спутной струе танкера, образуется "динамическая ватерлиния" (рис. 1).

Волновой профиль таков, что на стороне буксирного троса вода "наваливается" на корпус, а на противоположной стороне образуется впадина. В результате образования "динамической ватерлинии" погруженная часть корпуса подвергается крену с большим углом. Вследствие этого, буксир с недостаточной величиной таких параметров, как надводный борт, начальная остойчивость, диапазон остойчивости или запас остойчивости, будет иметь меньшую максимальную скорость эскортирования.

Влияние такой "динамической ватерлинии" на остойчивость пока полностью не изучено, поэтому было принято решение провести буксировочные испытания схематизированной модели эскортного буксира.

Для проведения эксперимента в опытовом бассейне была изготовлена схематизированная модель эскортного буксира в виде прямоугольного понтона. Основные характеристики модели приведены в табл. 1.

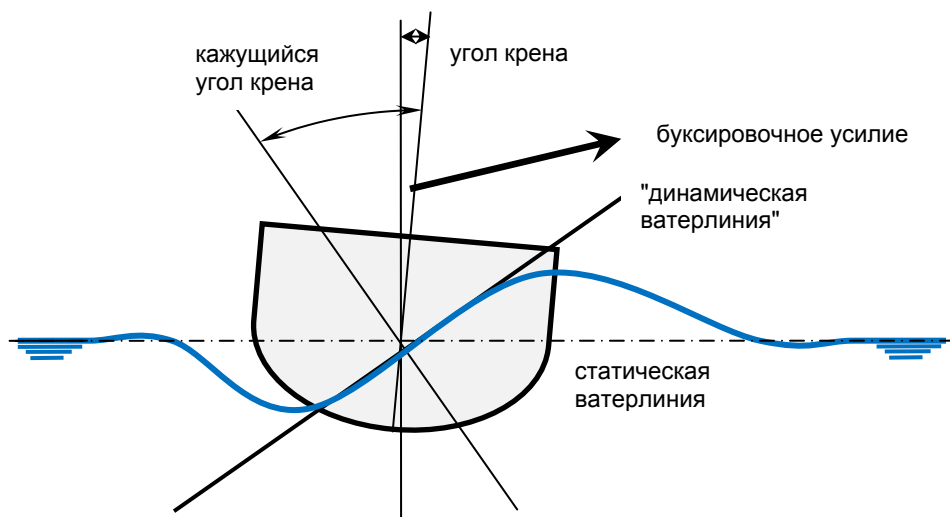


Рис. 1. «Динамическая ватерлиния» образуется в результате скопления воды на стороне

Таблица 1

Основные характеристики модели

ХАРАКТЕРИСТИКА МОДЕЛИ	ОБОЗНАЧЕНИЕ	РАЗМЕРНОСТЬ	$B/T = 2,92$	$B/T = 2,54$
ДЛИНА	L	М	0,822	0,822
ШИРИНА	B	М	0,292	0,292
ВЫСОТА БОРТА	H	М	0,225	0,225
ОСАДКА	T	М	0,100	0,115
ОБЪЕМНОЕ ВОДОИЗМЕЩЕНИЕ	V	м^3	0,0223	0,0256
КОЭФФИЦИЕНТ АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОЛНОТЫ	Δ	–	0,925	0,925
АППЛИКАТА ЦЕНТРА ВЕЛИЧИНЫ	z_c	М	0,0519	0,0597
АППЛИКАТА ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ	z_g	М	0,0701	0,0773
ПЛОЩАДЬ ВАТЕРЛИНИИ	S	м^3	0,240	0,240
МОМЕНТ ИНЕРЦИИ ПЛОЩАДИ ВАТЕРЛИНИИ	I_x	м^4	0,001705	0,001705
МЕТАЦЕНТРИЧЕСКИЙ РАДИУС	r	М	0,0770	0,0670
ПО МЕТАЦЕНТРИЧЕСКАЯ	h	М	0,0588	0,0490

Диаграммы статической остойчивости для осадок $T=0,1$ м и $T=0,115$ м приведены на рис. 2 и 3.

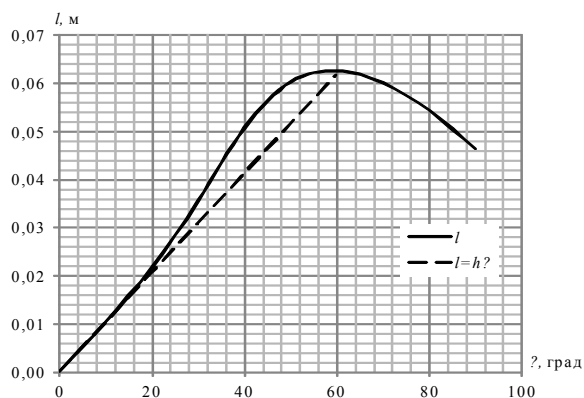


Рис. 2. Диаграмма статической остойчивости модели, $T = 0,1$ м

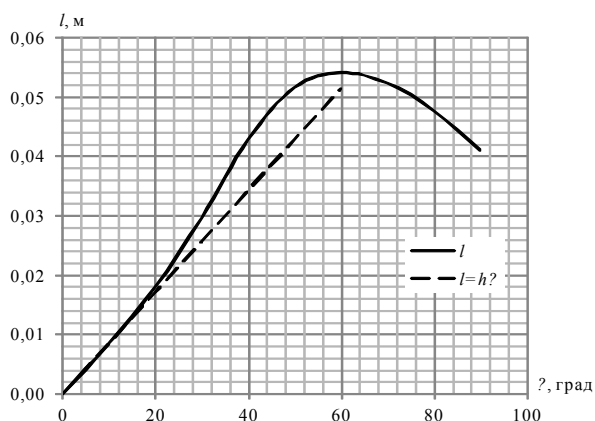


Рис. 3. Диаграмма статической остойчивости модели, $T = 0,115$ м

Буксировочные испытания выполнены в гравитационной системе опытового бассейна ГМТУ (рис. 4).

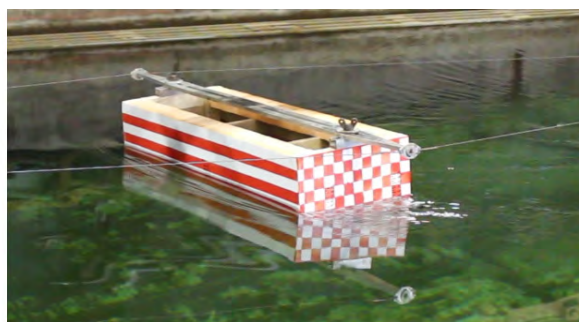


Рис. 4. Буксировочные испытания модели

Для заданной силы тяги (сопротивления) измерялась скорость движения модели и с помощью фото- и видеосъемки определялись истинный угол крена, угол динамической ватерлинии и динамическая осадка. При определении угла крена и динамической ватерлинии предполагалось, что объем погруженной части корпуса не меняется, т.е. имеют место равнообъемные накренения.

Во время пробегов отмечались колебания модели в горизонтальной плоскости относительно линии буксировки, что объясняется периодическим сходом с торцов модели вихрей. С ростом скорости амплитуды колебаний увеличивались, поэтому скорость буксировки пришлось ограничить.

На рис. 5 приведена схема сил, действующих на модель при буксировке.

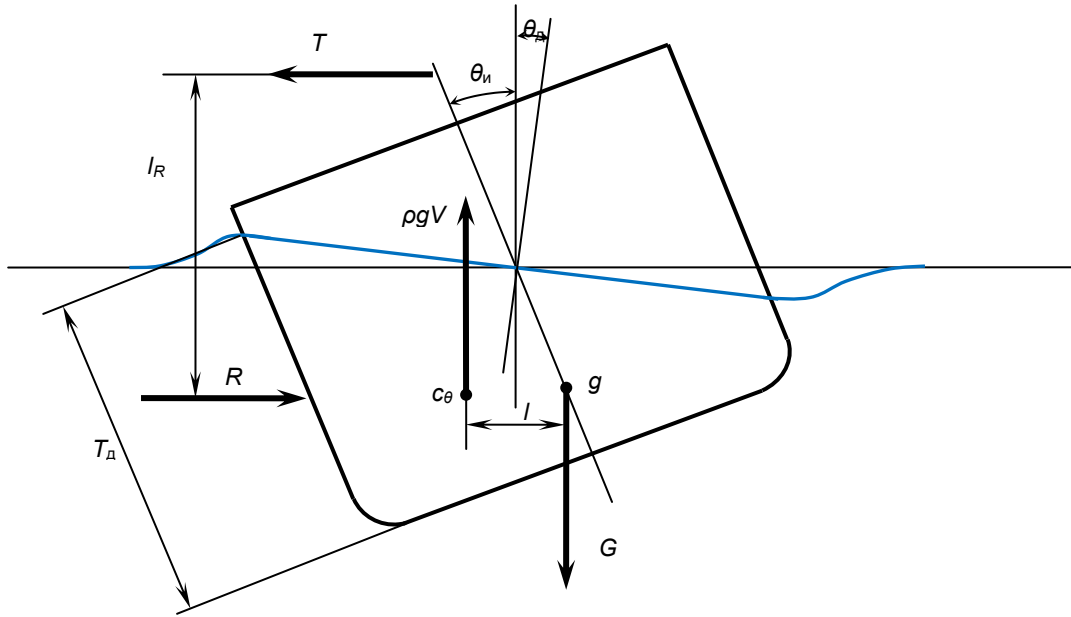


Рис. 5. Схема сил, действующих на модель при буксировке

Считая движение модели установившимся, можно записать уравнения равновесия:

$$\begin{aligned} R &= T, \\ G &= \rho g V, \\ M_{кр} &= M_b \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь G – сила веса модели;
 V – объемное водоизмещение;
 $M_{кр} = R l_R$ – кренящий момент;
 $M_b = G l$ – восстанавливающий момент;
 l – плечо восстанавливающего момента.
 Кренящий момент можно представить в виде –
 $M_{кр} = G l_{кр}$, где $l_{кр} = \frac{R}{G} l_R$ – плечо кренящего момента.

Рассчитывались также числа Фруда $Fr = \frac{v}{\sqrt{gB}}$ и коэффициенты сопротивления модели:

$$C_x = \frac{R}{\frac{\rho v^2}{2} S}, \quad (2)$$

где $S = L T_{д} \cos \theta_{и}$ – проекция площади погруженного сечения модели на вертикальную плоскость.

На рис. 6 нанесены экспериментальные точки $\left(\frac{S}{LT}\right)$ для двух осадок в зависимости от числа Fr , которые могут быть аппроксимированы простой формулой: $\frac{S}{LT} = (1 + 3,3 Fr^2)$; тогда

$$S = LT (1 + 3,3 Fr^2). \quad (3)$$

Из рис. 7, на котором приведены коэффициенты $C_x = f(Fr)$, видно, что можно принять коэффициент сопротивления для обеих осадок равным $C_{xp} = 0,9$.

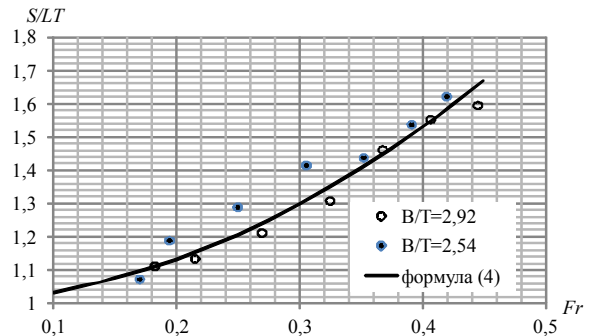


Рис. 6. Зависимость $\left(\frac{S}{LT}\right) = f(Fr)$

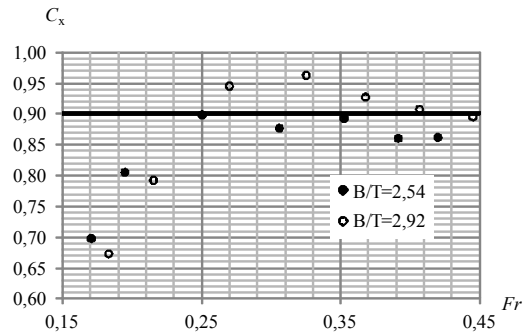


Рис. 7. Зависимость $C_x = f(Fr)$

Результаты расчета сопротивления по формуле

$$R_p = C_{xp} \frac{\rho v^2}{2} L T (1 + 3,3 Fr^2), \quad (4)$$

приведенные на рис. 8 подтверждают данное предположение.

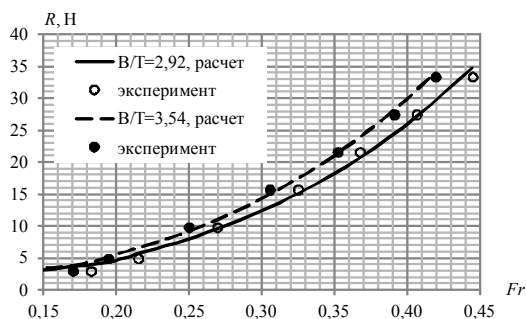


Рис. 8. Сопротивление модели

На рис. 9–11 приведены экспериментальные значения угла истинного крена, угла динамической ватерлинии и угла кажущегося крена от числа Фруда. На этих же графиках нанесены расчетные кривые, полученные аппроксимацией экспериментальных данных:

$V/T = 2,92$:

$$\begin{aligned} \theta_{И} &= 95,0 Fr^2; \\ \theta_{Д} &= 40,0 Fr^2; \\ \theta_{К} &= \theta_{И} + \theta_{Д} = 135,0 Fr^2; \end{aligned} \quad (5)$$

$V/T = 2,54$:

$$\begin{aligned} \theta_{И} &= 85,0 Fr^2; \\ \theta_{Д} &= 60,0 Fr^2; \\ \theta_{К} &= \theta_{И} + \theta_{Д} = 145,0 Fr^2. \end{aligned} \quad (6)$$

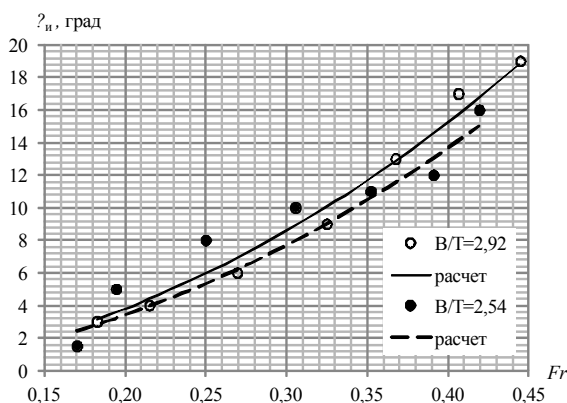


Рис. 9. Истинный угол крена

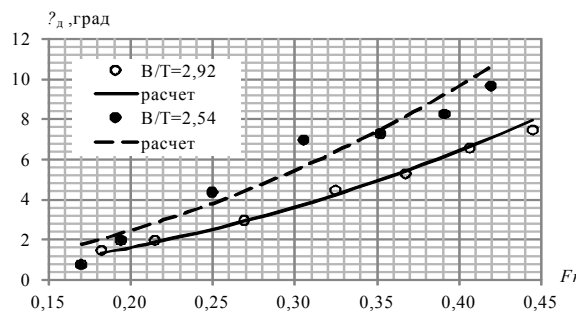


Рис. 10. угол динамической ватерлинии

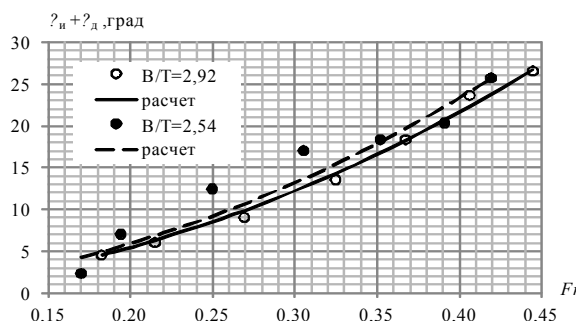


Рис. 11. Кажущийся угол крена

Кренящий момент, действующий на модель при буксировке, определяется зависимостью:

$$M_{кр} = R l_R, \text{ где } l_R = \left(z_R - \frac{T}{2} \right) \cos \theta_{И} - \text{плечо силы}$$

сопротивления; $z_R = 0,25 \text{ м}$ – аппликата точки

приложения силы тяги. Используя полученные формулы для сопротивления (4) и истинного угла

крена (5) и (6), можно определить расчетный кренящий момент: $M_{крр} = R l_{Rp}, l_{Rp} = \left(z_R - \frac{T}{2} \right) \cos \theta_{Ир}$

(рис. 12).

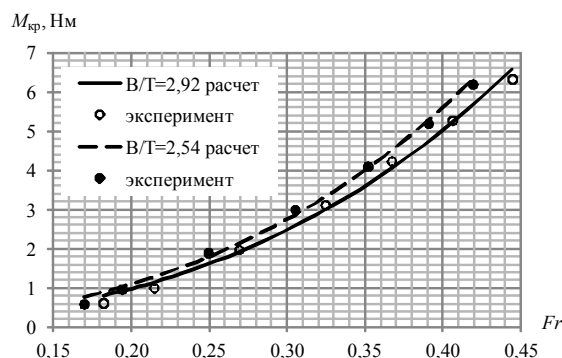


Рис. 12. Кренящий момент

На рис. 13 приведены кривые плеч кренящих моментов $l_{кр} = \frac{M_{кр}}{G}$ в зависимости от относительной скорости Fr .

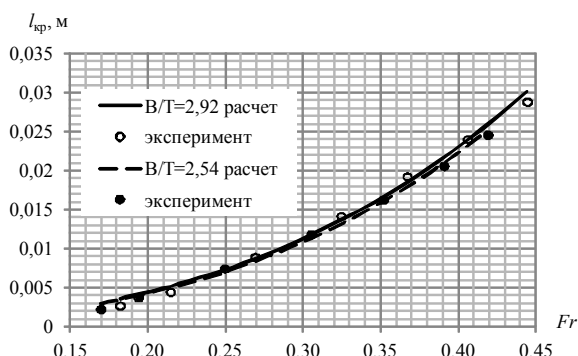


Рис. 13. Плечо кренящего момента

Плечо восстанавливающего момента модели, буксируемой поперек потока с относительной скоростью Fr , можно определить зависимостью (рис. 6):

$$l = [l_{\phi}(\theta_K) - l_B(\theta_K)] \cos \theta_D; \quad (7)$$

где $l_{\phi}(\theta_K)$ – плечо остойчивости формы определенное для $\theta_K = \theta_H + \theta_D$,

$l_B(\theta_K) = (z_g - z_c) \sin \theta_K$ – плечо остойчивости веса.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие основные выводы:

– влияние угла динамической ватерлинии может быть значительным, поэтому при нормировании остойчивости эскортных буксиров его необходимо обязательно учитывать;

– плечо диаграммы статической остойчивости буксира при наличии динамической ватерлинии уменьшается:

$$l = l_{\theta_H + \theta_D} \cos \theta_D. \quad (8)$$

Здесь $l_{\theta_H + \theta_D}$ – плечо восстанавливающего момента для кажущегося угла крена, θ_D – угол динамической ватерлинии.

– угол динамической ватерлинии пропорционален квадрату относительной скорости (числу Fr).

Чтобы установить влияние формы корпуса буксира на величину угла динамической ватерлинии, в дальнейшем необходимо проводить дополнительные исследования.

Литература

1. Scalzo S., Hogue D. Результаты анализа работы эскортных буксиров. ITS'96. 14-я Международная конференция и выставка по буксировке и спасательным средствам, состоявшаяся в Сиэтле (США) в сентябре 1996г. Полный сборник докладов и дискуссий. Издательство Thomas Reed Publications. 1996.

References

1. Scalzo S., Hogue D. The analysis of escort tugs. ITS'96. 14-th International Conference and exhibition on towing and safety equipment, held in Seattle (United States) in September 1996. A complete collection of reports and discussions. Publishing House Thomas Reed Publications. 1996.

Судовые энергетические установки

УДК 629.08+004.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ГАРМОНИК СЕТЕВЫХ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ АВТОНОМНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Жиленков Антон Александрович, аспирант,
преподаватель кафедры электрооборудования судов и автоматизации производства
Керченский государственный морской технологический университет
Керчь, Россия
E-mail: zhilenkovanton@gmail.com

Черный Сергей Григорьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
электрооборудования судов и автоматизации производства
Керченский государственный морской технологический университет
Керчь, Россия
E-mail: sergiiblack@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В настоящей работе представлен способ слежения за параметрами нестационарных гармоник сетевых токов и напряжений автономной электроэнергетической системы. Показаны недостатки существующих способов, опирающихся, как правило, на градиентные методы, будь то самонастраивающиеся беспоисковые системы или искусственные нейронные сети. Дан математический аппарат, включая реализацию в дискретном виде. Показано, что простота и эффективность предложенной системы позволяет выполнить её практическую реализацию средствами недорогих ПЛИС. Приведён пример такой реализации. Произведено исследование разработанной системы в среде моделирования Matlab. Представлено сравнение результатов моделирования с результатами полученными с помощью известных решений.

Ключевые слова: судно, система, гармоника, сигнал, математический аппарат, фильтр, функция, схема слежения.

COMPUTATIONAL AND THEORETICAL STUDIES OF THE ANNULAR RADIAL WATER INJECTOR

Zhilenkov Anton Aleksandrovich, postgraduate student
Kerch State Marine Technological University
Kerch, Russia
E-mail: zhilenkovanton@gmail.com

Chernyi Sergei Grigorovich, assistant professor, Ph.D.Tech., DEPARTMENT OF
ELECTRICAL AND AUTOMATION OF PRODUCTION VESSELS
Kerch State Marine Technological University
Kerch, Russia
E-mail: sergiiblack@gmail.com

ABSTRACT

One of the most essential tasks for a number of systems of the automatic controls in the autonomous electric power systems of the water transport is accurate calculation of variable harmonic components in the non-sinusoidal signal. In the autonomous electric power systems operating with full semiconductor capacity the forms of line currents and voltages are greatly distorted, and generator devices generate voltage with inconsistent frequency, phase and amplitude. It makes calculation of harmonic composition of the distorted signals be a non-trivial task. The present paper provides a mathe-

mathematical set for solution of the outlined problem including the realization in the discrete form. The simplicity and efficiency of the system proposed make possible to perform its practical realization with the help of cheap FPGA. The test of the developed system is performed in the medium Matlab.

Key words: vessel, system, harmonic, signal, mathematical formalism, filter, function, control scheme.

Введение

Современные судовые электроэнергетические системы (СЭЭС) характеризуются наличием в своем составе большого количества преобразовательной нагрузки, включающей преобразователи частоты, источники бесперебойного питания, инверторы, выпрямители и другие потребители, отличающиеся нелинейной вольт-амперной характеристикой.

Подобная нагрузка негативно воздействует на питающую сеть переменного тока, генерируя в неё высшие гармонические составляющие токов и напряжений [1-2].

В то же время множество систем судовой автоматики использует сетевые токи и напряжения для формирования опорных сигналов. Так, например, автоматические регуляторы напряжения (АРН) судовых синхронных генераторов (СГ) осуществляют регулирование по среднему значению напряжений и токов сети. Однако, при искаженной форме измеряемых сигналов (что вызвано наличием широкого спектра высших гармоник) их среднее значение возрастает и АРН, обрабатывая возникшую ошибку, понижает ток возбуждения СГ, что приводит к уменьшению напряжения СЭЭС. Как следствие, происходит снижение относительного значения основной и повышение высших гармоник, а значит, снижается электромагнитный момент асинхронных двигателей, возрастают потери в линиях электропередач, повышается уровень помех, воздействующих на системы управления судовой автоматикой. На практике, такую ошибку корректируют подстройкой корректора напряжения (КН). Однако так как гармонический состав периодически изменяется в зависимости от режима работы и состава нагрузки электростанции, постоянно необходимо изменять и уставку КН. Данную проблему можно решить, измеряя уровень основной гармоники тока и напряжения судовой сети.

С другой стороны известно, что наиболее эффективными средствами повышения качества электроэнергии в СЭЭС на данный момент являются фильтро-компенсирующие устройства (ФКУ). Их эффективность в подавлении высших гармоник и компенсации реактивной мощности может быть обеспечена только при высокой точности определения параметров целевых гармоник сетевых токов и напряжений [1, 3].

Таким образом, необходимым функциональным узлом приведенных в качестве примера систем, определяющим их эффективность в частности и работоспособность, в общем, является устройство идентификации внешних параметров системы управления. Основная функция блока –

выделение из искаженного сигнала необходимых для его анализа гармонических составляющих, определения их параметров, и использования результатов этого анализа в управлении средствами повышения значений показателей качества электроэнергии СЭЭС. При этом регулируются такие показатели, как уровни целевых гармоник токов и напряжений, значения суммарных гармонических искажений, показателей мощности искажений, реактивной мощности и т.д.

1. Подходы к решению проблемы

Если источники энергии СЭЭС представить как генератор синусоидального сигнала

$$x(t) = a_1(t) \sin(\omega_1(t)t + \varphi_1(t)) \quad (1)$$

где $a_1(t)$ – амплитуда, $\omega_1(t)$ – угловая частота и $\varphi_1(t)$ – фаза – нестационарные параметры генератора; то исследуемая система может быть представлена структурной схемой рис. 1.

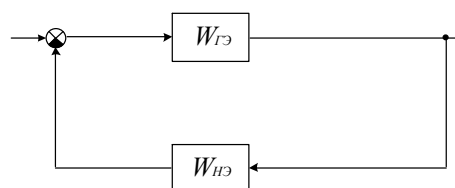


Рис. 1. Упрощенная структурная схема исследуемой системы: W_{H3} – нелинейный элемент, $W_{Г3}$ – передаточная функция генераторного агрегата СЭЭС, генерирующего периодически нестационарный сигнал $x(t)$

Эта, казалось бы, стандартная для теории автоматического управления по форме структурная схема, не может быть проанализирована инструментами классических частотных критериев устойчивости, так как теряется сам смысл частотной характеристики нестационарного элемента. Причем и сам нелинейный элемент W_{H3} в общем случае является нестационарным, так как основная полупроводниковая нагрузка СЭЭС представляет собой совокупность замкнутых структур (например, автономных инверторов и преобразователей) описываемых коммутационными функциями, и, следовательно, содержащих периодически изменяющиеся коэффициенты [4].

В контексте решаемой в данном исследовании задачи необходимо определить гармонический состав нестационарного сигнала, чтобы использовать его в качестве совокупности опорных сигналов в системе управления качеством электроэнергии СЭЭС. В настоящей работе предлагает-

ся использование некоторой функции аппроксимирующей искомые гармоники искаженного сигнала. Структурная схема такой системы представлена на рис. 2.

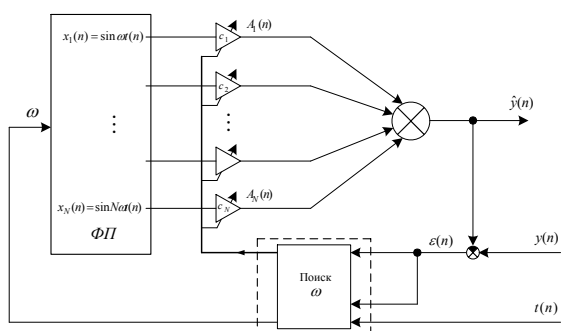


Рис. 2. Структурная схема аппроксиматора, выполняющего слежение за частотой ω и компонентами гармоник сигнала y

Идентификация каждой из искомым нестационарных гармоник искаженного сигнала осуществляется подстройкой параметров соответствующей функции-прототипа (ФП). В общей форме входной сигнал $y(t)$ системы идентификации, являющийся сигналом пропорциональным сетевому току или напряжению СЭС, может быть описан функцией-рядом Фурье:

$$y(t) = \sum_{k=1}^N a_k(t) \sin(k\omega_k(t)t + \varphi_k(t)) = x(t) + \xi(t),$$

где $a_k(t)$ – амплитуда, $\omega_k(t)$ – угловая частота и $\varphi_k(t)$ – фазовый угол k -й гармоники, N – количество гармоник (в общем случае $N = \infty$),

$$\xi(t) = \sum_{k=2}^N a_k(t) \sin(k\omega_k(t)t + \varphi_k(t))$$

– совокупность неаппроксимируемых (т.е. не восстанавливаемых разрабатываемым устройством) гармоник.

Введём вектор параметров $\phi(t) = [a(t), \omega(t), \varphi(t)]^T$, который принадлежит пространству параметров $\Phi(t) = \{[a, \omega, \varphi]^T\}$.

Ошибка аппроксимации характеризуется выражением [3-5]

$$\varepsilon = y - \hat{x}, \tag{2}$$

где $\hat{x}(t) = \hat{a}_1(t) \sin(\hat{\omega}_1(t)t + \hat{\varphi}_1(t))$ – восстановленная гармоническая составляющая. Причем очевидно, что ошибка (2) будет тем меньше, чем больше составляющих функции $\xi(t)$ будет восстановлено соответствующими генераторами аппроксимирующих функций.

При этом энергетическую функцию ошибки выразим среднеквадратичной погрешностью

$$E = \frac{1}{2} \varepsilon^2. \tag{3}$$

Функция (3) является функцией трёх переменных, то есть $E(A, \omega, \varphi)$ или $E(\phi)$. Задачей аппроксимации есть поиск такого алгоритма изменения элементов вектора ϕ , при котором происходит минимизация функции (3). То есть поиск такого значения $\bar{\phi}$ вектора ϕ , которому соответствует экстремальное значение функции E (минимум), когда будет выполняться условие

$$E(\phi) \geq E(\hat{\phi}); \quad \forall E \in \Phi, \tag{4}$$

где Φ – допустимая область или область возможных значений вектора ϕ , определяемая ограничениями

$$a \in [a_{\min}, a_{\max}], \quad \omega \in [\omega_{\min}, \omega_{\max}] \text{ и} \\ \varphi \in [\varphi_{\min}, \varphi_{\max}]. \tag{*}$$

На данном этапе мы подошли к задаче поиска экстремума (4) (минимума) энергетической функции (3). Функция является дифференцируемой по всем элементам, но выражение (2) предполагает нелинейное преобразование элементов входного вектора ϕ . Последнее обстоятельство ставит под вопрос возможность применения градиентных алгоритмов, наиболее зарекомендовавших себя в экстремальных системах.

Рассмотрим математические аспекты возможности применения градиентных методов в поставленной задаче для случая восстановления одной целевой гармоники. Выпишем градиенты для восстановленных параметров вектора ϕ [3,6]:

$$\begin{aligned} \frac{d\hat{a}(t)}{dt} &= -\mu_A \frac{\partial [E(t, \phi(t))]}{\partial \hat{a}(t)} \\ \frac{d\hat{\omega}(t)}{dt} &= -\mu_\omega \frac{\partial [E(t, \phi(t))]}{\partial \hat{\omega}(t)} \\ \frac{d\hat{\varphi}(t)}{dt} &= -\mu_\varphi \frac{\partial [E(t, \phi(t))]}{\partial \hat{\varphi}(t)} \end{aligned} \tag{5}$$

Энергетическую функцию представим как

$$E(t, \phi(t)) = \frac{1}{2} \varepsilon(t, \phi(t))^2 = \\ = \frac{1}{2} [y(t) - \hat{a}(t) \sin(\hat{\omega}(t)t + \hat{\varphi}(t))]^2$$

Подставив её в (5) и продифференцировав правую часть, получим

$$\begin{aligned} \frac{d\hat{a}(t)}{dt} &= -\mu_A \varepsilon(t) \sin(\hat{\omega}(t)t + \hat{\phi}(t)) \\ \frac{d\hat{\omega}(t)}{dt} &= -\mu_\omega \varepsilon(t) \hat{a}(t) t \cos(\hat{\omega}(t)t + \hat{\phi}(t)) \\ \frac{d\hat{\phi}(t)}{dt} &= -\mu_\phi \varepsilon(t) \hat{a}(t) \sin(\hat{\omega}(t)t + \hat{\phi}(t)) \end{aligned} \quad (6)$$

Во втором уравнении системы (6) появляется параметр времени вне знака косинуса. Таким образом, для данной энергетической функции выражение градиента по угловой скорости содержит комбинированный, то есть секулярный (вековой) и нелинейный одновременно, член. При применении методов Ньютона-Рафсона (или подобных), использующих гессиан, таких членов появится несколько. То есть, какой бы малой ни была функция ошибки $\varepsilon(t)$, с течением времени секулярный член будет неограниченно возрастать.

Следовательно, необходимо разработать такой алгоритм идентификации гармонического состава сигналов, пропорциональных токам и напряжениям сети, который позволил бы обеспечивать сходимость процесса при существующих нелинейностях и нестационарности рассматриваемой системы и, в то же время, обеспечивал бы свою реализуемость посредством современных цифровых систем, особенно при необходимости идентификации множества гармонических составляющих сигнала, что потребует параллельной или псевдопараллельной работы целого ряда копий (или ядер) искомого алгоритма.

2. Решение поставленной задачи

Сущность предлагаемого принципа аппроксимации каждой гармоники измеряемого сигнала состоит в формировании периодической функции на основании функции-прототипа $R_k(\omega_k(t), \phi_k(t), t)$, где k – номер аппроксимируемой гармоники (или просто $R_k(k, t)$); так, что перестраивая её параметры, мы будем стремиться достичь минимума ошибки между входным сигналом и периодической функцией. Исходя из физического смысла исследуемых процессов, как было отмечено выше, рационально в качестве ФП использовать функцию $R_k(t) = \sin(\omega_k(t)t + \phi_k(t))$. Тогда каждая гармоника будет аппроксимироваться весовой функцией $\hat{x}_k(t) = \hat{a}_k(t)R(k, t)$.

Частота $\omega(t)$ и фазовый угол $\phi(t)$ искомой функции переменны, то перейдём к понятию полной фазы $\psi(t) = \omega(t)t + \phi(t)$, учитывающей все изменения фазы функции, тогда систему (6) приведём к виду

$$\frac{d\hat{a}(t)}{dt} = -\mu_A \varepsilon(t) \sin \hat{\psi}(t), \quad (7.1)$$

$$\frac{d\hat{\omega}(t)}{dt} = -\mu_\omega \varepsilon(t) \hat{a}(t) t \cos \hat{\psi}(t), \quad (7.2)$$

$$\frac{d\hat{\psi}(t)}{dt} = \hat{\omega}(t) + \mu_\psi \frac{d\hat{\omega}(t)}{dt}. \quad (7.3)$$

Энергетическую функцию представим как $E(t) = \frac{1}{2} [y(t) - \hat{a}(t) \sin \hat{\psi}(t)]^2$, т.е. для ошибки аппроксимации будем иметь $\varepsilon(t) = y(t) - \hat{a}(t) \sin \hat{\psi}(t) = y(t) - \hat{x}(t)$.

Перейдём к интегралу функции (7.2) на конечном интервале $[t_i - T/2, t_i + T/2]$ длительностью T , на котором определён один интервал ФП. Как мы видим, используемая нами ФП – является 2π -периодической (то есть $T = 2\pi/\omega$) и нечётно-симметричной относительно середины интервала, на котором она определена и интегрируется. Примем, что амплитуда аппроксимируемой гармоники за время периода ФП не изменяется (изменяется медленно). Тогда для основной гармоники получим

$$\hat{\omega}_1(t) = -\mu_{\omega 1} \int_{t_i - \frac{T}{2}}^{t_i + \frac{T}{2}} \varepsilon(t) \hat{a}_1 t \cos \hat{\psi}(t) dt \quad (8)$$

Учитывая (1)-(2) и у согласно экспериментальным исследованиям [1-4] в судовой сети преобладают нечётные гармоники, распишем (8) как

$$\hat{\omega}_1(t) = -\mu_{\omega 1} \int_{t_i - \frac{T}{2}}^{t_i + \frac{T}{2}} [a_1(t) \sin \psi_1(t) + a_3(t) \sin \psi_3(t) + a_5(t) \sin \psi_5(t) + \dots] \hat{a}_1(t) t \cos \hat{\psi}_1(t) dt \quad (9)$$

При возникновении ошибки δ между действительной и восстановленной частотами основной гармоники, подынтегральное выражение в (9) будет также содержать указанные чётные гармоники.

При стремлении δ к нулю, (9) будет также стремиться к нулю вне зависимости от разности фаз между ФП и каждой из гармоник входного сигнала или их амплитуд. Последнее свойство выражения позволяет упростить его до вида

$$\hat{\omega}_1(t) = -\beta_{\omega 1} \int_{t_i - \frac{T}{2}}^{t_i + \frac{T}{2}} \varepsilon(t) r(t) dt,$$

где $r(t)$ – чётно- или нечётно-симметричная относительно интервала интегрирования ФП (производная от $R(t)$). Форма данной функции определяет динамические качества системы слежения за частотой основной гармоники. Отметим, что T – изменяющаяся величина. Именно это обстоятельство позволяет синхронизировать ФП с пе-

риодом целевой гармонике и отказаться от эталонной меры времени (частоты), необходимо обладающей долговременной стабильностью.

В пределах каждого цикла, соответствующего периоду ФП, ФП имеет ряд характерных участков и точек. Касательно последних, речь может идти о начальной точке периода, конечной, а также о нулях и экстремумах ФП. Рационально в качестве приращения искомого параметра использовать расстояния (время) между характерными точками. Таким образом, так как выражение (9) будет представлять сумму гармонических составляющих с низшей частотой (первой резонансной частотой) равной $2\omega_1$, а, следовательно, корреляционная функция будет стремиться к нулю уже в периоде соответствующем половине периода основной гармонике, то достаточным интервалом интегрирования может считаться половина периода основной гармонике или кратные ему интервалы. Приращение изменения частоты (периода) ФП будет равно интегралу (9) на полупериоде частоты основной гармонике. В дискретном виде [2,5,7]

$$\omega_{i+1} = \omega_i + \frac{2\beta\omega_1\tau}{T} \varepsilon_i r_i.$$

Произведя замену $\alpha_\omega = \tau \beta\omega_1/\pi$, получим

$$\omega_{i+1} = \omega_i + \alpha_\omega \omega_i \varepsilon_i r_i. \quad (!)$$

Коэффициент α_ω также определяет динамические свойства системы слежения за частотой и зависит от формы ФП. Произведение $\alpha_\omega \omega_i$, присутствующее в выражении (!), позволяет сохранять эти свойства при изменении частоты входного сигнала, то есть фактически описывает перестраиваемый фильтр, так как определяет постоянную времени интегратора, адаптирующуюся к нестационарной частоте восстанавливаемой гармонике.

3. Результаты моделирования

Моделирование по предложенному алгоритму показало сходимость решения без каких-либо ограничений по интервалу моделирования. Результаты моделирования представлены на рис.3 и рис.4.

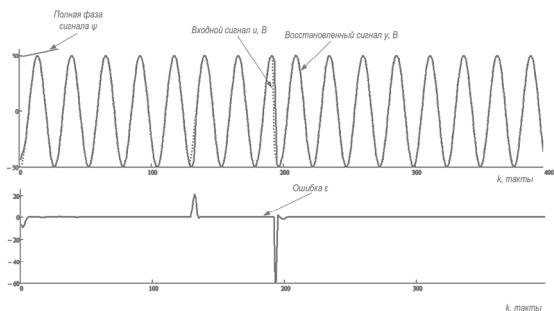


Рис. 3. Отслеживание основной гармонике $u(k)$ искаженного сигнала $v(k)$ с изменяющейся частотой $\omega(k)$ и ошибка слежения $\varepsilon(k)$ по предложенному алгоритму

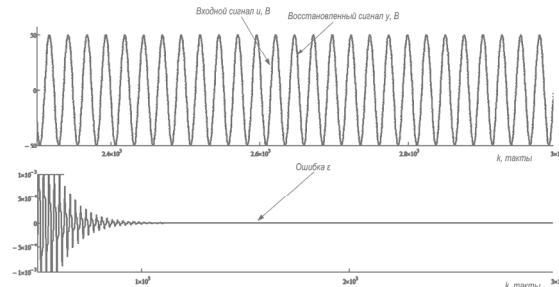


Рис. 4. Процесс отслеживания основной гармонике $u(k)$ искаженного сигнала $v(k)$ на большом временном интервале

На рис.5 приведены результаты моделирования процесса слежения за основной гармоникой сигнала $v(t)$, при наличии в нём 5-й и 7-й гармоник с уровнями, соответственно, 10% и 5%.

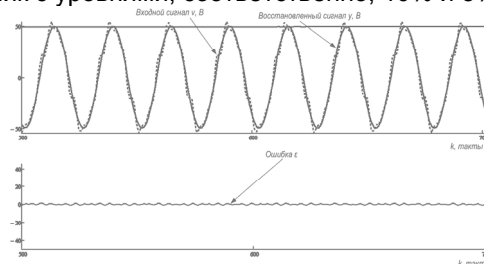


Рис. 5. Аппроксимация основной гармонике $u(k)$ искаженного сигнала $v(k)$ при наличии в нём 5-й и 7-й гармоник

На рис.6 приведен результат моделирования переходного процесса аппроксиматора. Частота входного сигнала изменяется скачком с 50 до 46,5 Гц без какой-либо дополнительной фильтрации восстановленных сигналов.

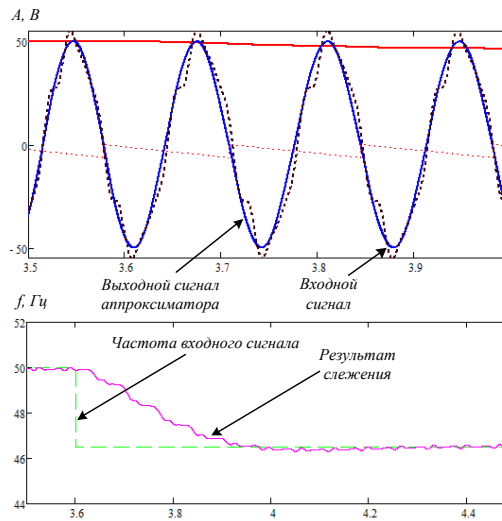


Рис. 6. Реакция аппроксиматора на скачкообразное изменение частоты входного сигнала

Сравнение с существующими решениями. Предложенный метод слежения за параметрами основной (а, в общем, любой) гармонике искаженного сигнала, позволяет обеспечить уникальное, стабильное и сходящееся решение нели-

нейной динамической системы. Полученный алгоритм обеспечивает уникальную асимптотическую траекторию, являющейся периодической и лежащей в окрестности аппроксимируемой функции – целевой гармоники сигнала.

Данный метод может быть с успехом использован при построении многомерных систем идентификации внешних параметров, как подсистемы экспертных блоков в автоматизированных системах управления качеством электроэнергии на водном транспорте и в других автономных электроэнергетических системах.

Ряд существующих решений, с которыми можно сравнить предложенную систему довольно ограничен. Например, такие распространенные методы, как быстрое или дискретное преобразование Фурье лежат вне сравнения в связи с тем, что при смещении частоты компонент входного сигнала, проявляется так называемый эффект утечки, в результате которого отклонение частоты на 5Гц вызывает возникновение погрешностей в оценке амплитуд более 10%.

Сравнительный анализ работы разработанной системы и расширенного фильтра Калмана даёт следующие результаты моделирования. Использование расширенного фильтра Калмана при наличии во входном сигнале кроме основной гармоники дополнительных 5-й и 7-й с амплитудами 10% и 5% соответственно, не позволяет получить ошибку ниже 4%. В то время как предложенная автором система при тех же условиях имеет ошибку, не превышающую 0,2% по частоте. А при использовании фильтра низких частот по сигналу восстановленной частоты, ошибка снижается до уровня менее 0,04%.

Практическая реализация. Простота предложенного алгоритма позволяет реализовать многомерный аппроксиматор с минимальными требованиями к вычислительным мощностям аппаратной части устройства. Простейший и эффективный алгоритм с использованием расчетной функции или табличной модели ФП может быть реализован на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС или FPGA). Архитектура ПЛИС, их гибкость и возможность реализации параллельных вычислительных процессов делают их наиболее перспективной платформой в практической реализации рассматриваемой системы слежения.

Синтез схемы реализующей предложенный алгоритм и генерация кода прошивки были выполнены с помощью инструмента Xilinx System Generator программного пакета Matlab 2014a, позволяющего проектировать схемы на ПЛИС Xilinx в графической среде имитационного моделирования Simulink. В качестве ПЛИС была выбрана микросхема Spartan6 xc6slx45-3nfgg484 от фирмы Xilinx. Ядром системы является генератор функции-прототипа (ГФП), выполненный в данной разработке на основе табличной функции look-up table (LUT). Фактически реализованный генератор представляет собой массив значений синус-функции. Входной величиной генератора является значение фазы, отображаемое внутренней

схемой генератора из фазового пространства во время. В качестве генератора ГФП использован блок DDS v5.0 (Direct Digital Synthesizer).

Схема слежения за частотой и фазой сигнала представлена на рис. 7.

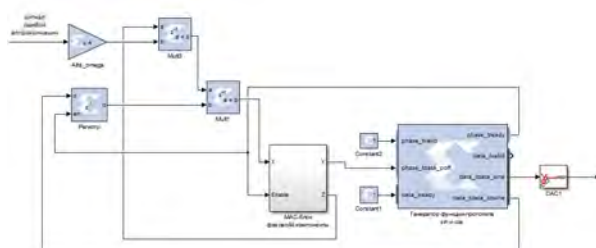


Рис. 7. Схема слежения за частотой и начальной фазой сигнала

Схема MAC-блока фазовой компоненты представлена на рис. 8.

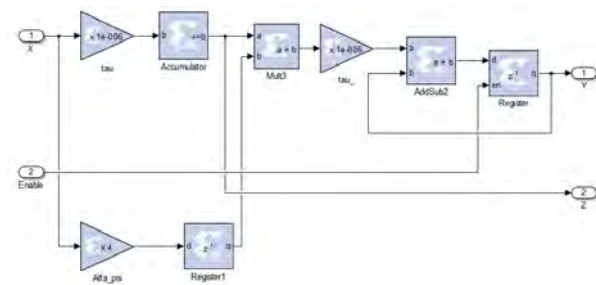


Рис. 8. MAC-блок фазовой компоненты

Схема слежения за амплитудой сигнала представлена на рис. 9.

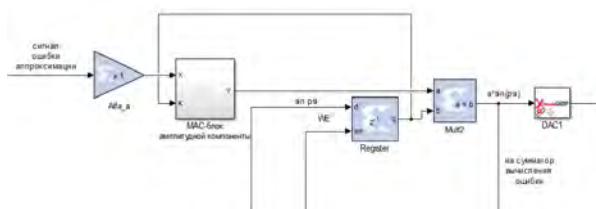


Рис. 9. ПЛИС-реализация схемы слежения за амплитудой сигнала

Как видно, частота входного сигнала отслеживается одним блоком для нескольких ГФП (где количество равно количеству отслеживаемых гармонических компонент сигнала), что упрощает схему и соответствует физическому смыслу исследуемой системы, так как в принципе частоты любых восстанавливаемых компонент сигнала в данной сети будут кратны частоте основной гармоники. То есть восстанавливать её необходимо единожды для всех блоков схемы. Различаться будут начальные фазы компонент.

Выводы

Решена задача идентификации параметров нестационарных гармоник токов и напряжений в

автономных сетях средств водного транспорта в режиме реального времени. Найден простой и эффективный математический аппарат, позво-

ляющий решить поставленную задачу средствами ПЛИС, что позволяет параллельно восстанавливать десятки целевых компонент сигнала.

Литература

1. *Жиленков А.А.* Интеллектуальная поддержка принятия решений при оптимальном управлении фильтро-компенсирующими устройствами // «Водный транспорт» : збірник наукових праць / Киевская государственная академия водного транспорта. – Киев. 2014. №1(19). С.216–220.
2. *Жиленков А.А., Черный С.Г.* Идентификация и контроль параметров в автоматизированных системах управления судовых электроэнергетических систем // «Системы управления, навигации и связи» выпуск 3(27), – Полтава, 2013. С. 63–69.
3. *Жиленков А.А., Черный С.Г.* Применение нейронечёткого моделирования для задач идентификации многокритериальности в транспортной отрасли // Вестник самарского государственного университета путей и сообщений – Самара, 2014, № 1(23). С. 104–110.
4. *M. Sharaf and P. K. Dash*, “A Kalman Filtering Approach for estimating power System Harmonics,” Proceeding of the Third International Conference on Power system Harmonics, pp. 34–40, 1989.
5. *Haili Ma, and Girgis, A. A.*, “Identification and tracking of Harmonic Sources in a Power System Using a Kalman Filter,” IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 11, No. 3, pp. 1659-1665, July 1996.
6. *S. A. Soliman, G. S. Christensen, D. H. Kelly and K. M. El-Naggar*, “A State Estimation Algorithm for Identification and Measurements of Power System Harmonics”, Electric Power System Research Journal, Vol. 19, pp. 195-206, 1990.
7. *R. K. Hartana, and G. G. Richards*, “Harmonic source monitoring and identification using neural networks”, IEEE Trans, on Power Systems, Vol. 5, No.4 pp. 1098-1104, Nov. 1990.

References

1. *Zhilentkov, A. A.* (2014). Intel'ektual'naya podderzhka prinyatiya resheniy pri optimal'nom upravlenii fil'tro-kompensiruyushchimi ustroystvami. Vodniy transport, 1(19), 216–220.
2. *Zhilentkov, A. A., Chernyi, S. G.* (2013). Identifikatsiya i kontrol' parametrov v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniya sudovykh elektroenergeticheskikh system. Sistemy upravleniya, navigatsii i svyazi. 3(27), 63–69.
3. *Zhilentkov, A. A., Chernyi, S. G.* (2014). Primeneniye neyronechotkogo modelirovaniya dlya zadach identifikatsii mnogokriterial'nosti v transportnoy otrasli. Vestnik samarskogo gosudarstvennogo universiteta putey i soobshcheniy. 1(23), 104–110.
4. *Sharaf M., Dash P. K.* “A Kalman Filtering Approach for estimating power System Harmonics,” Proceeding of the Third International Conference on Power system Harmonics, 1989, pp. 34–40.
5. *Haili Ma, Girgis, A. A.* (1996). Identification and tracking of Harmonic Sources in a Power System Using a Kalman Filter. IEEE Trans. Power Delivery, 11(3), pp. 1659–1665.
6. *Soliman, S. A., Christensen, G. S., Kelly, D. H., El-Naggar, K. M.* (1990). A State Estimation Algorithm for Identification and Measurements of Power System Harmonics. Electric Power System Research Journal. 19, pp. 195–206.
7. *Hartana, R. K., Richards, G. G.* (1990). Harmonic source monitoring and identification using neural networks. IEEE Trans, on Power Systems. 5(4), pp. 1098–1104.

УДК 62.613

СНИЖЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ ДОБАВКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА В ТОПЛИВО

Серажутдинов Омар Владимирович, старший преподаватель
кафедры экологии промышленных зон и акваторий
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: serazhutdinov@mail.ru

Чистяков Вячеслав Александрович, профессор
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Наиболее известные и промышленно отработанные способы снижения выбросов оксидов азота, такие как селективное каталитическое восстановление, рециркуляция отработавших газов, увлажнение воздуха, применение водотопливных эмульсий обладают рядом серьезных недостатков – это значительное усложнение конструкции и увеличение расхода топлива. Поэтому авторами предлагается устройство для кратковременной подачи сжатого воздуха в процессе впрыскивания топлива. Предлагаемый способ подачи сжатого воздуха в период впрыскивания топлива позволяет решить сразу две задачи: одновременно снизить выбросы и удельный эффективный расход топлива. Результаты испытания судового дизеля с данным устройством показали положительный эффект одновременно по снижению токсичности отработавших газов и удельному эффективному расходу топлива. Во многом, полученный эффект подтверждается теоретическими положениями, согласно которым насыщение топливного факела пузырьками воздуха вызывает более эффективное сгорание по сравнению с обычным факелом, состоящим только из капель топлива.

Ключевые слова: судовой дизель; токсичность; воздушная трубка; эффективный расход топлива; топливный факел; смеситель; коэффициент избытка воздуха.

REDUCTION IN TOXICITY OF THE FULFILLED GASES OF THE SHIP DIESEL ENGINES DUE TO THE ADDITIVES OF THE COMPRESSED AIR IN THE FUEL

Serazhutdinov Omar Vladimirovich, the teacher, of department of ecology
of industrial areas and areas
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia
E-mail: serazhutdinov@mail.ru

Chistyakov Vyacheslav Aleksandrovich, PhD,
Professor of department of ship power plants, systems and equipment
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia

ABSTRACT

The most famous and industrial exhaust ways to reduce emissions of nitrogen oxides, such as selective Catholic recovery, recirculation of exhaust gases, humidification, use water fuel emulsions have a number of serious deficiencies is significant complexity of the design and increased fuel consumption. Therefore, the authors propose a device for short-term supply of compressed air in the process of fuel injection. The proposed method of supplying compressed air to the period of fuel injection can solve two problems at once: to simultaneously reduce emissions and specific effective fuel consumption. The results of the testing of ship diesel with this device showed a positive effect of both reducing emissions and specific effective fuel consumption. In many respects, the results confirmed the theoretical provisions under which the saturation of the fuel torch bubbles causes a more efficient combustion compared to conventional torch, consisting only of drops of fuel.

Key words: : marine diesel; toxicity; air tube; fuel efficiency; fuel torch; mixer; the coefficient of excess air.

Законодательным органом для нормирования экологических показателей судовых ДВС является Международная морская организация (ИМО). Разработанные ею и действующие с 1 января 2011 г. технические нормы ИМО Tier-2 касаются только выбросов оксидов азота. С 2016 г. предлагается ввести новый стандарт ИМО Tier-3, в котором предельно допустимое содержание оксидов азота в отработавших газах (ОГ) будет снижено почти в 4 раза. Такое резкое ужесточение нормативов на выбросы загрязняющих атмосферу веществ вынуждает производителей постоянно изыскивать все новые и новые технические решения, улучшающие экологические показатели дизелей [3].

Наиболее известные и промышленно отработанные способы снижения выбросов оксидов азота, такие как селективное каталитическое восстановление, рециркуляция отработавших газов, увлажнение воздуха, применение водотопливных эмульсий обладают рядом серьезных недостатков – это значительное усложнение конструкции и увеличение расхода топлива. С этих позиций предлагаемый способ подачи сжатого воздуха в период впрыскивания топлива позволяет решить сразу две задачи: одновременно снизить выбросы и удельный эффективный расход топлива.

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

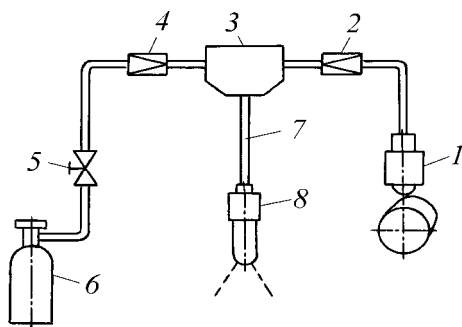


Рис. 1. Схема подготовки топливоздушной смеси

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



Рис. 2. Топливоздушный смеситель и его детали

Таким образом, задачей предлагаемого устройства является дробление цикловой подачи топлива на мельчайшие капли и перемешивания их с воздухом. Распад топливной струи происходит под действием деформации при прохождении через калибровочное отверстие диаметром 1,5 мм корпуса смесителя и дополнительно под воздействием аэродинамических сил. Эти силы обусловлены струей воздуха, который подается в смеситель. Непосредственное насыщение топлива воздухом и образование топливоздушной смеси происходит в переходнике. Его внутренний диаметр был определен в результате согласования основных характеристик штатной топливной аппаратуры и гидравлических характеристик развития топливного факела, состоящего из смеси топлива и воздуха, по формуле

$$d_n = 2 \cdot 10^{-3} \frac{t \cdot g \cdot d}{\ell} \sqrt{\mu \frac{\rho_T}{\rho_B}},$$

где t - время, в течение которого происходит впрыскивание топлива, с; ℓ - длина переходника, м; g - скорость истечения топлива, м/с; μ - коэффициент истечения; ρ_T и ρ_B - плотности топлива и воздуха, кг/м³.

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

перименты, возможен сбой в подаче топлива и остановка дизеля.

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

Двигатель был дополнительно оборудован устройством отбора отработавших газов, системой регистрации внутрицилиндровых процессов, приборами для регистрации эмиссии токсичных компонентов и дымности ОГ, а также устройством для подачи сжатого воздуха. Для изучения внутрицилиндровых процессов использовался вычислительный комплекс ДМ-2000, который позволяет одновременно регистрировать давления газов в цилиндре двигателя, топлива в трубопроводе высокого давления и угол поворота коленчатого вала. Эмиссия токсичных компонентов ОГ определялась с помощью газоанализатора АВТОТЕСТ – 02.03П [2], который позволяет измерять концентрацию: оксида углерода CO, диоксида углерода CO₂, оксидов азота NO_x, углеводородов CH_x, кислорода O₂.

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

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

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

- с увеличением нагрузки на двигатель выход токсичных продуктов сгорания растет независимо от вида используемого топлива.

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

мерности и не требуют дополнительных пояснений.

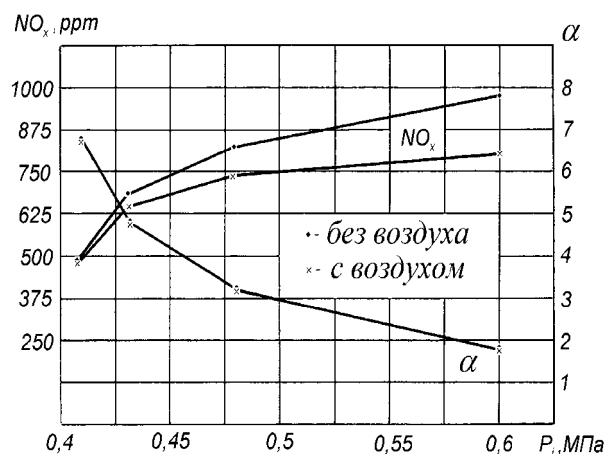


Рис. 3. Совмещенные зависимости для оксидов азота и коэффициента избытка воздуха при работе дизеля 1417,5/24 по нагрузочной характеристике

Для дизеля 3Ч 17,5/24 нормируемый уровень выбросов NO_x по IMO Tier-2 составляет 9,99 г / (кВт ч). Пересчет прямых измерений к удельным показателям для режима с $p_i = 0,6$ МПа (эффективная мощность $N_e = 14,91$ кВт) и работе двигателя на чистом топливе дал величину 10,78 г / (кВт ч), что превышает предельную норму на 7,9 %. При добавке воздуха в топливо объемная концентрация оксидов азота 808 ppm. В пересчете она эквивалентна 9,05 г / (кВт ч) и уже не превышает предельный уровень. Сопоставление указанных величин показывает: добавка воздуха в топливо позволяет уменьшить выбросы оксидов азота на 16 %.

Данное уменьшение связано, прежде всего, с тем, что за счет добавки воздуха в топливо создаются дополнительные условия, благоприятно влияющие на тонкость и однородность распыливания. Эти условия обусловлены наличием в топливе пузырьков воздуха, которые ослабляют силы поверхностного натяжения и внутреннего сцепления топлива. В результате получается топливный факел, состоящий из перемешанных между собой капель топлива и пузырьков воздуха. Из-за разных плотностей топлива и воздуха поступательное движение такого факела сопровождается большими потерями энергии, поскольку более легкие пузырьки воздуха тормозят движение относительно тяжелых капель топлива. При этом дальность топливного факела сокращается, растет его поперечное сечение и улучшается микроструктура. Таким образом, подача сжатого воздуха позволяет:

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

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

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

В определенной мере подтверждением сказанному служит анализ индикаторных диаграмм, показанных на рис.4. При работе дизеля на топливоздушной смеси сгорание получается относительно плавным, приближенным к изобарному процессу. При этом максимальное давление цикла снизилось с 4,94 до 4,65 МПа или на 5,9 %, а уменьшение жесткости составило 1,7 %.

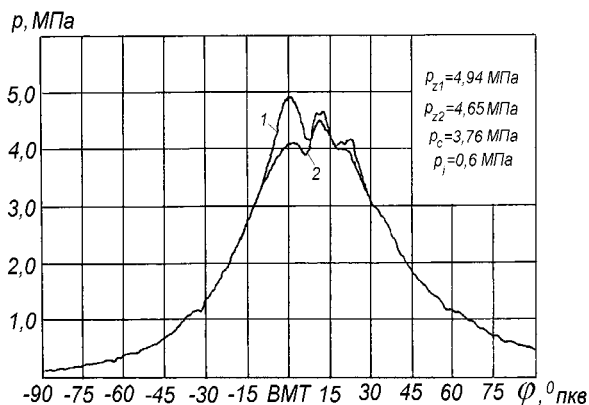


Рис. 4. Совмещенные индикаторные диаграммы:
1 – без подачи воздуха, 2 – с подачей воздуха

Еще одним аргументом в защиту полезного эффекта от добавки воздуха в топливо и объяснением причин уменьшения концентрации NO_x служат кривые тепловыделения и текущие температуры газов, полученные расчетом непосредственно с использованием приведенных индикаторных диаграмм и представленные на рис. 5 [4].

При рассмотрении этих кривых напрашиваются следующие очевидные факты:

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

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

- процесс основного горения топлива, главным образом определяющий механизм образования NO , смещается на линию расширения. Макси-

мум тепловыделения и температуры газов наблюдается при $12 \div 14^\circ$ ПКВ после ВМТ, что на $2 \div 4^\circ$ больше, чем при работе двигателя на топливе без добавки воздуха. Смещение на линию расширения сгорания сокращает время на протекание реакций образования оксида азота и его закалики.

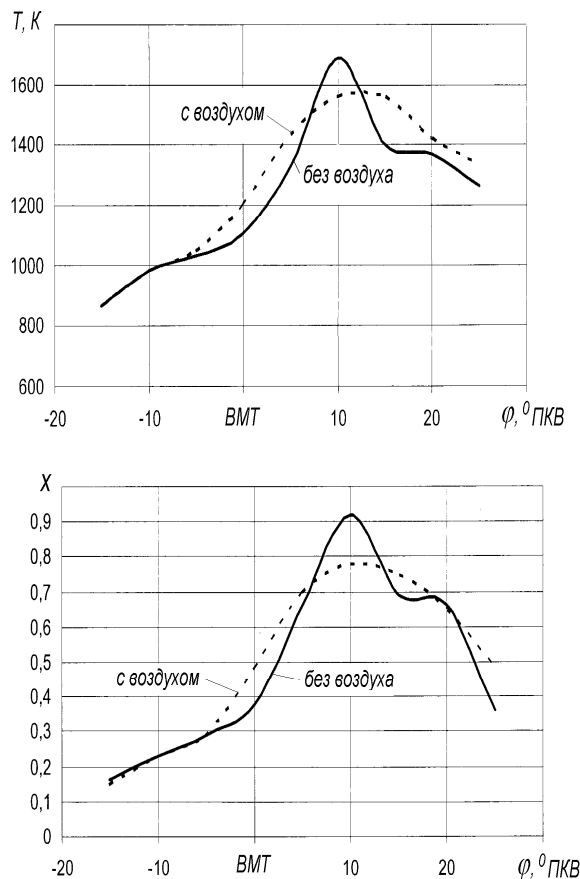


Рис. 5. Кривые тепловыделения и температуры газов

Экспериментально подтверждено положительное влияние добавки воздуха в топливо на содержание в отработавших газах оксида углерода CO и углеводородов CH . Приведенные на рис. 6 кривые свидетельствуют: за счет обогащения топливных факелов добавочным воздухом выход CO уменьшился до 0,054 % с 0,063 % при работе двигателя на чистом топливе. Уменьшение выбросов CH (рис.6) связано с улучшением качества распыливания топлива. Еще одним компонентом ОГ является диоксид углерода CO_2 . Установлено, что содержание углекислого газа в ОГ практически не зависит от того на каком топливе работает дизель.

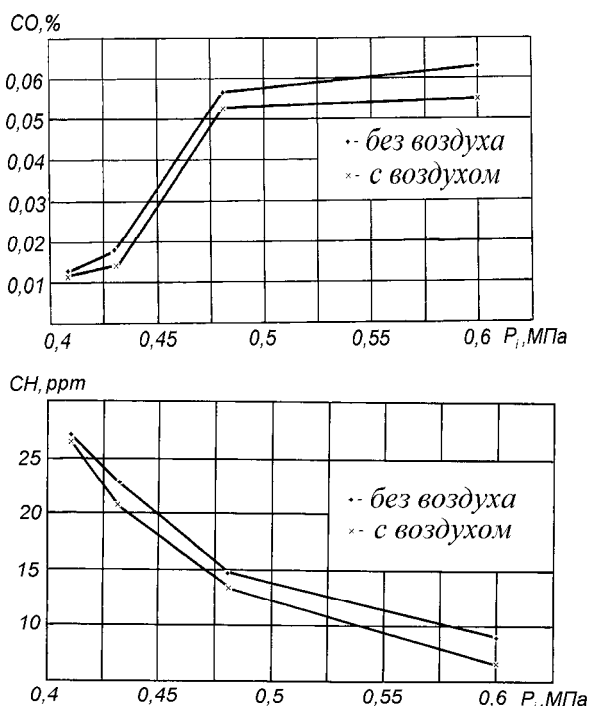


Рис. 6. Содержание оксида углерода и углеводородов в отработавших газах

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

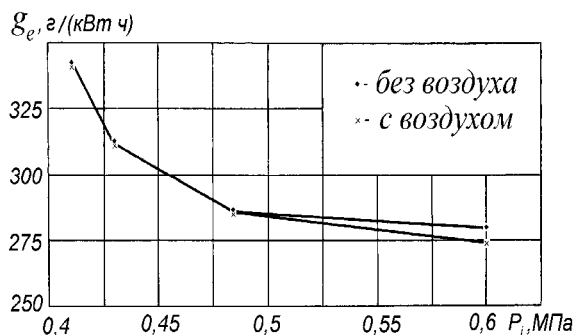


Рис. 7. Зависимости для удельного эффективного расхода топлива

Таким образом, приведенные результаты испытания судового дизеля 3С 17,5 / 24, работающего по нагрузочной характеристике с опытным топливоздушным смесителем позволяют констатировать: кратковременная подача сжатого воздуха в процессе впрыскивания топлива позволяет уменьшить токсичность отработавших газов и одновременно улучшить топливную экономичность. В частности, зафиксировано снижение удельного эффективного расхода топлива на 1,8 %, оксидов азота – на 16 %, оксида углерода – на 14,3 %, углеводородов – на 23,5 %. Установлено, что эффект от добавки воздуха в топливо увеличивается по мере роста нагрузки на двигатель, а на режимах, близких к номинальному, он достигает наибольшего значения.

Во многом, полученный эффект подтверждается теоретическими положениями, согласно которым насыщение топливного факела пузырьками воздуха вызывает более эффективное сгорание по сравнению с обычным факелом, состоящим только из капель топлива.

Литература

1. Гаврилов В.В. Испытание двигателя 3С 17,5 / 24 по нагрузочной характеристике. Методические указания к лабораторным работам / В.В.Гаврилов, В.Б. Красильников. – Л.: ЛКИ, 1989. 35 с.
2. Газоанализаторы многокомпонентные. Модификация «АВТОТЕСТ-02.03». Руководство по эксплуатации М 057.000.00 РЭ. Методика проверки М 047.000.00 МП. – Научно-производственная фирма «МЕТА». 79 с.
3. Новиков Л.А. Ограничение выбросов на уровне IMO Tier-3 для судовых дизелей отложено до 2021 года // Двигателестроение. 2013, № 2. С. 26–32.
4. Шаров Г.И. Обработка индикаторной диаграммы дизеля на характеристику тепловыделения. Методические указания / Г.И.Шаров, В.К.Румб. СПб.: СПбГМТУ, 2007. 29 с.

References

1. GavriloV V.V. Ispytanie dvigatelja 3Сh 17,5/24 po nagruzochnoj harakteristike. Metodicheskie ukazanija k laboratornym robotam. V.V.GavriloV, V.B. Krasil'nikov. L.: LKI, 1989. 35 s.
2. Gazoanalizatory mnogokomponentnye. Modifikacija «AVTOTEST-02.03». Rukovodstvo po jekspluatácii M 057.000.00 RJe. Metodika proverki M 047.000.00 MP. Nauchno-proizvodstvennaja firma «META». 79 s.
3. Novikov L.A. Ogranichenie vybrosov na urovne IMO Tier-3 dlja sudovyh dizel'ej otlozheno do 2021 goda. Dvigatelistroenie. 2013, № 2. S. 26–32.
4. Sharov G.I. Obrabotka indikatornoj diagrammy dizelja na harakteristiku teplovydelenija. Metodicheskie ukazanija. G.I.Sharov, V.K.Rumb. SPb.: SPbGMTU, 2007. 29 s.

Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства

УДК 65.012:656.615

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА ПРИ СОЗДАНИИ ТЕХНИЧЕСКИ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ НА ЕЁ ПОЛНОМ ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ

Богданов Александр Евгеньевич, заместитель генерального директора,
кандидат технических наук
ЗАО «ЦБР «Галактика»
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: bogdanov@cbr-galaktika.ru

АННОТАЦИЯ

В работе предложен численный метод оценки специализации применяемых бизнес- процессов управления производственного подразделения в процессах создания технически сложных систем в виде математической модели представления функциональности организационной структуры.

Предлагается рассматривать конфигурацию информационного взаимодействия структурных подразделений производственного комплекса по четырем видам представления, которые следует формировать на всех этапах жизненного цикла промышленного предприятия.

Актуальность предложенного метода обусловлена необходимостью выполнять анализ функционирования выбранной номенклатуры бизнес – процессов по типам представлений и осуществлять их оптимизацию в структуре промышленного предприятия .

Предложенная методика может быть использована в процессах формирования специализированных производственных кластеров при создании и техническом обслуживании судового комплектующего оборудования и морской техники различного назначения в целом.

Ключевые слова: проектирование организационно - управленческих структур, фазы модели предприятия, представления модели системы, параметр специализации иерархической структуры, количественная оценка уровня функционирования организационной структуры.

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF LEVEL OF FUNCTIONING ORGANIZATIONAL STRUCTURE OF INDUSTRIAL COMPLEX AT CREATION OF TECHNICALLY DIFFICULT SYSTEM OF SEA EQUIPMENT ON ITS FULL LIFE CYCLE

Bogdanov Alexander Evgenievich, deputy CEO, Candidate of Technical Sciences
JSC CBR «Galaktika»
Sankt-Petersburg, Russia
E-mail: bogdanov@cbr-galaktika.ru

ABSTRACT

In work the numerical method of an assessment of specialization of the applied business management processes of production division in processes of creation of technically difficult systems in the form of mathematical model of representation of functionality of organizational structure of management is offered.

It is offered to consider a configuration of information exchange of structural divisions of industrial complex by four types of representation which should be formed at all stages of life cycle of the industrial enterprise.

Relevance of the offered method is caused by need to make the analysis of functioning of the chosen nomenclature business – processes on types of representations and to carry out their optimization in structure of the industrial enterprise. The offered technique can be used in processes of for-

mation of specialized production clusters at creation and technical m service of the ship accessory equipment and sea equipment of different function in general.

Key words: Design of organizational and administrative structures, phases of model of a enterprise, representation of model of system, parameter of specialization of hierarchical structure, quantitative assessment of level of functioning administrative structures.

Современный промышленный менеджмент опирается на модели бизнеса, которые в результате реформирования действующей инфраструктуры судостроительной отрасли повлекут изменение функций и соответственно перераспределение ресурсов задействованных организационных структур.

Проведение организационно - управленческих преобразований в настоящее время осуществляется на основе практического опыта и не всегда эффективно. По мнению автора, за последнее время существенного изменения организационно-управленческих структур по созданию и эксплуатации морской техники не наблюдается.

Несмотря на объективную необходимость реформирования взаимодействия организационных структур на полном жизненном цикле морской техники, а также широкое использование программно-аппаратных комплексов, реформирование внутри предприятий ограничивается применением «кальки», ранее действующих бизнес-процессов с последующим переводом проектной, технической, эксплуатационной или другой документации с бумажного документооборота в электронный вид, пренебрегая принципом: «Стратегия рождает процесс, а процесс - структуру»,

Актуальной проблемой становится проектирование структурных образований и условий эффективного их использования при применении прогрессивных организационно – управленческих технологий в процессах создания и эксплуатации систем морской техники на её полном жизненном цикле.

Разработка методологии обоснованной оценки и совершенствования бизнес - процессов создания и эксплуатации систем морской техники на полном жизненном цикле с целью оценки функциональности организационной структуры представляет собой актуальную задачу для отраслевой науки и предприятий судостроительной отрасли.

В общем виде фазы модели предприятия (см. рис.1), отражают фазы жизненного цикла технически сложной системы производства [3], В международных требования ISO 19439 отражены четыре представления модели системы и три уровня общности на каждой из семи фаз модели системы.

Семь фаз модели предприятия приведены на рисунке 1 [3], . Для каждой из первых пяти фаз моделирования системы, разработанные на предшествующих фазах, привлекаемые представления трансформируются в новую модель с соответствующей степенью декомпозиции и детализации для этой фазы. Получения более точного описания рассматриваемого объекта исследования на каждом уровне осуществляется по-

средством добавления новых признаков к языковым конструкциям моделирования, уже применяемым на предшествующих фазах.



Рис. 1. Представление фазы модели системы на примере модели предприятия [1]

Шестая фаза модели системы – действие домена, представляет применение систем управления в конкретных внутренних условиях функционирования производственного комплекса, а последняя фаза модели выражает виды деятельности, необходимые для вывода системы из эксплуатации в конце срока ее службы.

Размерность представления следует определять термином «представление модели системы», которыми являются [3]:

- функциональное представление;
- информационное представление;
- ресурсное представление;
- организационное представление.

На частном уровне, совокупности частных моделей описываются для каждой фазы модели системы (за исключением области действия домена), которые выражают типичные представления функциональности, информации, ресурсов и организации, относящиеся к определенным промышленным сегментам (проектирование, строительство, эксплуатации, техническое обслуживание и ремонт, утилизация). При переходе на каждый следующий уровень происходит преобразование характеристик видов представлений. Такие модели могут генерировать требования к системам управления на обособленном уровне рассматриваемых инфраструктур предприятий - участников, посредством последующих операций создания экземпляра технически сложного изделия и их специализации на полном жизненном цикле, а при сопоставлении привлекаемых ресурсов близкой функциональности отражают направления инновационного развития организационной структуры.

Представляется целесообразным рассматривать оценку организации системы, при взаимодействии её управленческих структур разного уровня, через специализацию функционального подразделения, имеющего соответствующие ресурсы (материальные, трудовые, финансовые, информационные) и рациональное их использования. Однако сравнивать, возможно, только сопоставимые сущности объектов организации процессов строительства морской техники. Захаров И.Г. [5] в теории концептуального анализа в военном кораблестроении рассматривает сопоставление дискретных объектов с ресурсом n , имеющих общие свойства вида ресурса k для каждого из них. Предлагается использовать параметр уровня специализации S по выбранному ресурсу структурного подразделения в процессах создания и эксплуатации морской техники представлять как:

$$S = \lg n - \lg \bar{k} = \lg \frac{n}{\bar{k}} \quad (1)$$

где:

n - общее количество рассматриваемого вида ресурса,

\bar{k} - среднеприведенный параметр представления функциональности структуры процесса (процессов) предметной области рассматриваемой системы в выбранных границах в виде ориентированного графа $K = (I, N)$, где I - вид функциональности, а N_i - объем используемых ресурсов по i -ой функциональности:

$$\lg \bar{k} = \frac{\sum n_k^i \lg k^i}{n} \quad (2)$$

n_k - количество рассматриваемого вида ресурса по функциональности k , встречающихся k -раз по соответствующей совокупности функциональностей $k = 1, 2, 3, \dots, q$

Для анализа качества управления бизнес – процессов в рассматриваемом структурном подразделении, при выполнении возложенной на него функциональности? необходимо знать параметр функциональности использовании типа ресурса в виде достигнутого уровня специализации структурного подразделения, который изображается в векторной форме на входе процесса.

$$P_{\text{гр}}^{\text{BX}} = \lg n^{\text{BX}} + iS^{\text{BX}} \quad (3)$$

$\lg n^{\text{BX}}$ - вещественная часть представляет собой характеристику объема управления используемыми ресурсами для выполнения возложенной на него функций,

S_i^{BX} - мнимая часть представляет собой параметр, характеризующий уровень организованности использования видов ресурсов при заданной функциональности, где $S_{\text{вх}}$

$$S^{\text{BX}} = \lg n^{\text{BX}} - \lg \bar{k}^{\text{BX}} \quad (4)$$

Уровень организации иерархически более высокого организационного образования (подразделения), состоящего из « m » иерархически связанных функциональностей нижнего уровня (групп), определяется по входящим ресурсам:

$$P_{\text{подр.}}^{\text{BX}} = \lg \left(\sum_{j=1}^m n_j \right) + iS^{\text{BX}} = \lg N^{\text{BX}} + i \lg \frac{N^{\text{BX}}}{\bar{k}^{\text{BX}}} \quad (5)$$

Где:

$$\begin{aligned} S^{\text{BX}} &= \lg \left(\sum_{j=1}^m n_j \right) - \frac{\sum_{j=1}^m (n_j \lg \bar{k}^{\text{BX}})}{\sum n_j} = \\ &= \lg N^{\text{BX}} - \lg \bar{k}^{\text{BX}} = \lg \frac{N^{\text{BX}}}{\bar{k}^{\text{BX}}} \end{aligned} \quad (6)$$

Аналогично определяются уровень специализации функциональности преобразования видов ресурсов на базе реализации бизнес-процессов на выходе по формуле:

$$P_{\text{сп}}^{\text{UCX}} = \lg n^{\text{UCX}} + iS^{\text{UCX}} = \lg N^{\text{UCX}} + i \lg \frac{N^{\text{UCX}}}{\bar{k}^{\text{UCX}}} \quad (7)$$

$$P_{\text{подр.}}^{\text{UCX}} = \lg N^{\text{UCX}} - \lg \bar{k}^{\text{UCX}} = \lg \frac{N^{\text{UCX}}}{\bar{k}^{\text{UCX}}} \quad (8)$$

Передаточное отношение $W = \frac{P^{\text{исх}}}{P^{\text{BX}}}$ харак-

теризует интенсивность специализации принятой функциональности организационной структуры в принятой системе показателей. Математическое условие, обеспечивающее оптимальное сочетание обеспечивающее выполнение требований по повышению функциональности процессов управления в иерархии, рассматриваемой организационной схемы, определяется как

$$S_{\text{предпол}} - S_{\text{первонач}} \ll 0 \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{\lg N^{исх} + i \lg \frac{N^{исх}}{k}}{\lg N^{ex} + i \lg \frac{N^{ex}}{k}} = \\
 &= \frac{\lg N^{исх} \lg N^{ex} - \lg \frac{N^{ex}}{k} \lg \frac{N^{исх}}{k}}{\lg^2 N^{ex} - \lg^2 \frac{N^{ex}}{k}} + \\
 &+ i \frac{\lg \frac{N^{исх}}{k} \lg N^{ex} - \lg N^{исх} \lg \frac{N^{ex}}{k}}{\lg^2 N^{ex} - \lg^2 \frac{N^{ex}}{k}} = A + iB
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Условие концентрации ресурсов при заданной функциональности системы на полном жизненном цикле в виде

$$\delta B \ll 0 \text{ или } \delta A = \text{нормативу}$$

обеспечит достижения требуемых параметров управляемости рассматриваемого процесса выбранной организационной системе управления при её дискретной реорганизации конкретного подразделения. В общем случае передаточное

отношение $W = \frac{P^{исх}}{P^{ex}}$ для организационной

структуры является функцией от времени t или этапов жизненного цикла системы, т.е. $W = W(t)$ как и P^{ex} , $P^{исх}$, в процессе реализации бизнес процессов предметной области (см. рис. 2). При исследовании процессов оптимизации организационного обеспечения по выбранной функциональности инфраструктуры предприятий возможны следующие варианты обработки информационных ресурсов N_i , N_{i+1} подразделениями этих предприятий:

$S_{исх} \geq S_{вх}$. - В результате процесса обработки ресурсов происходит концентрация специализации и функционального назначения структурного подразделения и структура управления должна соответствовать объему и качеству обработки информации по использованию ресурсного представления без потери требуемой функциональности;

$S_{исх} = S_{вх}$ - В результате своей деятельности подразделение «переписывает» исходную информацию о используемых ресурсах в другие форматы данных, не изменяя её объема представления, а возможно и принципиального содержания, т.е работает «роботом», и требуется рассмотрения вопроса о необходимости дальнейшего функционирования данного структурно-

го подразделения или замены на автоматизированный комплекс управления;

$S_{исх} \leq S_{вх}$ - Наблюдается потеря ресурсного представления или их преобразование по новой технологии организации работ, с целью агрегатирования исходных данных по укрупненному функциональным блокам управления.

Тоже можно сказать и по результатам анализа изменения параметров векторов $P_{вх}^i$, $P_{исх}^i$, $P_{под}$.

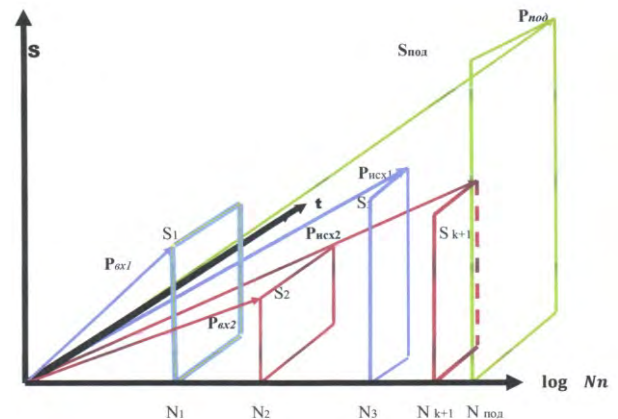


Рис. 2. Графическое представление уровней специализации структурных групп подразделения $P_{под}$ при обработке N_i ресурсов специализации S_i

Представленная методология позволяет практически на одном листе бумаги, в полулогарифмической шкале выстроить уровни специализации структурных подразделений всего предприятия или совокупности отдельных организаций, интегрированных структур отрасли, осуществляющих функциональную деятельность по выбранному для исследований проекту морской техники.

По мнению автора необходимо исследовать соответствие уровней специализации функциональности организационной структуры ряда подразделения в совокупности взаимодействия системы «Заказчик - ЦКБ –проектант – судостроительное \ судоремонтное предприятие - эксплуатирующая организация - ремонтное \ утилизационное предприятие» или совокупности их взаимодействия в организации по выбранному проекту морской, или иной технически сложной техники по следующим направлениям [5]:

- функционального проектирования по уровням специализации организационных структур и регламентам выполнения представления, анализа, синтеза, расчета,

- информационного обеспечения проектирования и реализации функциональной модели технически сложной системы (нормативно – справочная информация, базы данных, технические средства обработки, передачи и защиты данных),

- ресурсного обеспечения (по видам статей бюджета организации, персонал, энергопотребление, т.е. соответствия инфраструктуры предприятий обеспечению функциональности рас-

смаатриваемой системы) и его рационального использования.

Выводы

1. В связи с необходимостью реализации реформирования судостроительного комплекса РФ необходимо отработать методологию оценки уровня специализации бизнес-процессов привлекаемых ресурсов организационных структур предприятий – участников по обеспечению функциональности морской техники на её полном жизненном цикле.

2. Функциональное моделирование организационно-управленческих процессов выходит за рамки отдельной организации и должно рассматриваться как одно из условий достижения конку-

рентоспособности проектов морской техники во взаимодействии отдельных предприятий с учетом их специализации и организационной принадлежности.

3. Предусмотренный Концепцией Минобороны РФ уровень сервисного обслуживания морской техники на судостроительных предприятиях требует специальных сервисных оргструктур, позволяющих достигать оптимального сочетания территориальных и специализированных центров технического обслуживания и ремонта для достижения требуемой функциональности морской техники на полном её жизненном цикле.

Литература

1. Александров В.Л. Перелыгин А.В., Соколов В.Ф. Судостроительное предприятие в условиях рынка, СПб, Судостроение 2003, 423 с.
2. Захаров И.Г. Концептуальный анализ в военном кораблестроении – СПб, Судостроение, 2001, 264 с
3. Смоляков А.А. Горев Ю.Н., Мартынов Н.П. и др. Корабль и море – СПб, Гангут, 2005, 669 с.
4. Волкова В.Н. Емельянов А.А. Теория систем и системный анализ в управлении организациями; Справочник – М; Финансы и статистика, 2012, 848 с.
5. ГОСТ Р ИСО 19 439 - 2008. ИНТЕГРАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ, Основа моделирования предприятия.
6. Гельфанд Е.В. «Взаимодействие организаций в рамках системы управления проектами». Материалы сборника PLM ФОРУМ 2013 «Управление жизненным циклом изделий судостроения. Информационная поддержка», С. 17-20.
7. Смольников А.В. Алексеев А.В. Квалиметрическое обеспечение повышения конкурентоспособности объектов морской техники и морской инфраструктуры. Морской вестник, № 1(49), 2014, С. 113–118.
8. Шауб П.А. Методы функционального проектирования в анализе и синтезе сложных систем. Морской вестник.2012 № 2 106-109 с.

References

1. Aleksandrov V.L. Perelygin A.V., Sokolov V.F. Sudostroitel'noe predpriyatie v usloviyax rynka, SPb, Sudostroenie 2003, pp. 423.
2. Zaxarov I.G. Konceptual'nyj analiz v voennom korablestroenii. SPb, Sudostroe-nie, 2001, pp.264
3. Smolyakov A.A. Gorev Yu.N., Martynov N.P. i dr. Korabl' i more.SPb, Gangut, 2005, 669 s.
4. Volkova V.N. Emel'yanov A.A. Teoriya si-stem i sistemnyj analiz v upravlenii or-ganizacijami; Spravochnik – M; Finansy i statistika, 2012, pp. 848.
5. GOST R ISO 19 439 - 2008. INTEGRACIYa PREDPRIYaTIYa, Osnova modelirovaniya predpriyatiya
6. Gel'fand E.V. «Vzaimodejstvie organi-zacij v ramkax sistemy upravleniya proektami». Materialy sbornika PLM FORUM 2013 «Upravlenie zhiznennym ciklom izdelij sudostroeniya. Informacionnaya pod-derzhka», pp.17-20.
7. Smol'nikov A.V. Alekseev A.V. Kvalimet-lichesкое obespechenie povysheniya konkuren-tosposobnosti ob"ektov morskoy texniki i morskoy infrastruktury. Morskoj vestnik, 1(49), 2014, pp. 113–118 .
8. Shaub P.A. Metody funkcional'nogo pro-ektirovaniya v analize i sinteze slozhnyx sistem. Morskoj vesnik.2012 2 pp. 106-109.

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

УДК 629.12.001.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СУДОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

Зубова Анастасия Андреевна, аспирантка кафедры теории корабля
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: anastasia.cr@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В рамках работы исследованы некоторые методы прогнозирования поведения судна в условиях гидродинамического взаимодействия с точки зрения изучения феномена как такового и выбора математических моделей, обеспечивающих необходимую степень точности полученных данных. С физической точки зрения, взаимное влияние возникает при взаимодействии полей давления в жидкости, создаваемых судами в процессе движения. Сложность формы судового корпуса и большое число кинематических параметров, определяющих значения сил и моментов в данном случае, обуславливает необходимость проведения большого объема систематических расчетов. С точки зрения практики судовождения, задача судоводителя не может считаться тривиальной, так как в каждом отдельном случае характер изменения поведения судна зависит от конкретных условий. Методы имитационного моделирования позволяют во многом упростить задачу, однако ограниченность данных о гидродинамических характеристиках судна не позволяет моделировать весь спектр реальных условий. В связи с вышесказанным, исследования в рамках данной работы сфокусированы вокруг получения качественной и количественной оценки возникающих на корпусе гидродинамических сил и моментов взаимодействия, а так же разработке методологии практического применения полученной информации в решении задач управляемости. Для определения гидродинамических характеристик было произведено предварительное численное моделирование доступными методами вычислительной гидродинамики. Представленные результаты содержат часть численных данных, полученных в рамках исследования обгонного движения судна и оценки адекватности выбранных математических моделей в задачах гидродинамики судна. Выводы содержат общие заключения состояния проблемы, заключения по результатам численного моделирования и некоторые вопросы для будущих исследований.

Ключевые слова: маневрирование, гидродинамическое взаимодействие судов, методы вычислительной гидродинамики, CFD, турбулентность, RANS.

NUMERICAL MODELLING OF THE SHIP TO SHIP INTERACTION WITH THE USE OF COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS METHODS

Zubova Anastasia Andreevna, PhD student of the DEPARTMENT OF SHIP THEORY
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia
E-mail: anastasia.cr@gmail.com

ABSTRACTS

Ship to ship interaction appears to be a challenging problem from the several aspects: maritime practice, scientific research, engineering approaches and finally marine simulators implementation as a combination of previously named ones. Interaction forces prediction has been appearing in many researches during past times and still takes attention in conditions of growing marine traffic and port operation rules. But mainly researches performed in previous years are diverse, varying in objectives, showing a numerous variety of approaches. Building a unified strategy for the ship to ship interaction phenomena comprehension would be helpful for, on one side prediction methods, and on the other side experimental programs together with the practical studies somehow. The main objective of hereby presented studies was to validate the Computational Fluid Dynamics (CFD) available facilities towards the hydrodynamic forces and moments prediction in case of ship to ship interaction for the infinite fluid condition. Investigated conditions are reproducing the situation of the overtaking maneuver in general.

Key words: maneuvering, ship to ship interaction, computational fluid dynamics, CFD, turbulence, RANS.

Введение

Прогнозирование параметров управляемого движения судна можно отнести к одной из наиболее сложных задач корабельной гидродинамики. Это объясняется, прежде всего, сложным трехмерным характером вязкого течения, возникающего при криволинейном движении судна, корпус которого имеет в общем случае сложную пространственную геометрию и развитую систему выступающих частей [3]. Существенным в данном случае является также то, что маневрирование может выполняться в условиях дополнительных внешних воздействий (например, встречных и попутных течений, морского волнения и пр.), границ акватории (близость дна акватории, вертикальных границ различных конфигураций) и др. Все выше сказанное приводит к существенному изменению сил и моментов, действующих на корпус судна и его элементы по сравнению с их значениями, определенными без учета приведенных факторов. Помимо внешних воздействий, связанных с параметрами движения судна и геометрическими особенностями акватории, серьезное влияние может оказывать присутствие других морских объектов в непосредственной близости, так же находящихся в процессе движения, или же неподвижных. С точки зрения практики судовождения, маневрирование судна в последнем случае требует своевременного прогнозирования и последующего предупреждения столкновения и возможных негативных эффектов, таких как: потеря управляемости судна, посадка на мель, падение скорости движения. Взаимное гидродинамическое влияние судов как таковое возникает в момент, когда возникает взаимодействие полей давления в жидкости, образующихся вблизи корпуса каждого судна. В результате возникают дополнительные силы и моменты, действующие на суда, и, следовательно заметное ухудшение их маневренных качеств. С точки зрения оценки влияния указанных внешних условий, необходимо производить учет дополнительных динамических нагрузок, возникающих на корпусе судна, которыми невозможно пренебречь при анализе мореходных и маневренных качеств судна.

Результат сочетания приведенных факторов, оказывающих значительное влияние на поведение судна, как правило носит непредсказуемый характер и задача судоводителя в данном случае не может считаться тривиальной. Согласно существующим рекомендациям [1,2], маневр обгон является наиболее потенциально опасной ситуацией в связи с характером и размером гидродинамических сил и моментов, оказывающих влияние на поведение и управляемость судна. Создание обучающего тренажера для судоводителей, способного качественно моделировать поведение судна в различных условиях взаимодействия, с учетом внешнего влияния среды, позволит значительно повысить качество подготовки профессиональных кадров, в перспективе создать систему экспертных оценок и рекомендаций, что в свою очередь повысит безопасность судоходства.

1. Задачи исследования

Настоящая работа направлена на изучение феномена гидродинамического взаимодействия судов с последующей разработкой методологии оценки степени влияния этого взаимодействия, в частности на маневренные качества судов. Работа носит комплексный характер, так как прогнозирование поведения судна в сложных условиях требует рассмотрения совокупности проблем:

1. разработка эффективного метода определения гидродинамических сил и моментов на основе численного моделирования, включающая анализ современных методов и моделей вычислительной гидродинамики;
2. качественная и количественная оценка возникающих на корпусе судна гидродинамических сил и моментов;
3. разработка методологии практического применения полученной информации в решении задач управляемости судна.

2. Методы исследования

Движение вязкой несжимаемой жидкости в поле массовых сил описывается уравнениями Навье-Стокса, для замыкания системы используется уравнение неразрывности:

$$\rho \left(\frac{\delta \vec{v}}{\delta t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} \right) = \nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \vec{f} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0.$$

Для корректной постановки задачи систему уравнений (1) необходимо дополнить начальными и граничными условиями. В качестве начальных условий может быть выбрано состояние покоя рассматриваемой динамической системы, или же обтекание системы потоком жидкости со скоростью. На твердых поверхностях, должно выполняться условие прилипания, на большом удалении от рассматриваемой системы должно выполняться условие отсутствия возмущений.

Моделирование движения тел судовой формы в потоке вязкой несжимаемой жидкости, как правило требует учитывать влияние турбулентного характера течения жидкости. С точки зрения математической постановки задачи, это приводит к решению осредненных по времени уравнений Навье-Стокса (RANS), содержащей заранее неизвестные компоненты тензора турбулентных напряжений. Для замыкания полученной системы уравнений О. Рейнольдса используются специальные реологические соотношения, называемые моделями турбулентности.

Наиболее широко распространенными на сегодняшний день моделями, реализованными в коммерческих пакетах, являются двухпараметрические модели турбулентности различных модификаций:

- k-ε модель турбулентности, содержащая уравнениями переноса для турбулентной кинетической энергии k и скорости ее диссипации ε [4];

- стандартная, двухслойная k-ε модель для многофазных течений, позволяет решать уравнения переноса для каждой фазы среды (жидкость/газ) при условии использования специализированного подхода для разрешения пристеночной области и общего потока[5];

- SST модель турбулентности: определение коэффициентов модели в различных областях расчетной области и ограничение допустимых значений для турбулентной вязкости потока. В пристеночной области данный подход реализует модель Вилкокса (Wilcox), в общем потоке и непосредственно в переходной - стандартную k-ε модель в k-ω постановке [6];

- идея DES модели [6] основана на разделении области течения жидкости на 2 зоны: непосредственно вблизи твердых границ тела, и остальной поток. В первой области разрешаются уравнения SST модели, во второй применяется метод крупных вихрей (LES).

В рамках представленного исследования были произведены систематические расчеты гидродинамических характеристик судна (модель контейнерного судна KCS) и теоретических тел близких по форму к судовой (тело Вигли) с целью оценки качества полученных результатов на основе методов вычислительной гидродинамики и произведен сравнительный анализ результатов различных моделей турбулентности с целью определения наиболее адекватной в задаче определения гидродинамического взаимодействия судов.

Результаты

4.1. Моделирование движения изолированного корпуса судна

Моделирование изолированного корпуса судна в рамках данного исследования производилось с целью оценки точности полученного решения и предварительного выбора модели турбулентности. На данном этапе были использованы модели тела Вигли и контейнерного судна KCS. Сравнение полученных численных результатов [10] основано на экспериментальных данных, полученных в [7] и предложенных в опубликованных материалах Гетебургской Конференции, 2010 [8]. Материалы содержат как результаты экспериментальных исследований, так и сравнительный анализ существующих программных кодов, основанных на методах вычислительной гидродинамики.

Численное моделирование проведено для значений чисел Фруда в диапазоне 0,0945 – 0,291, соответствующих скоростям движения судов на малых ходах, с целью снижения степени влияния волнообразования. Размеры тела Вигли и модели контейнеровоза были выбраны одинаковыми с целью определения влияния формы корпуса судна на общее сопротивление судна: L=7,357 м, B=1,019 м, T=0,34177 м.

Исследование сеточной независимости показало отсутствие зависимости решения для дискретизации расчетной области выше 2,4 млн ячеек.

Ниже приведены кривые коэффициента сопротивления в зависимости от числа Фруда для двух исследованных тел:

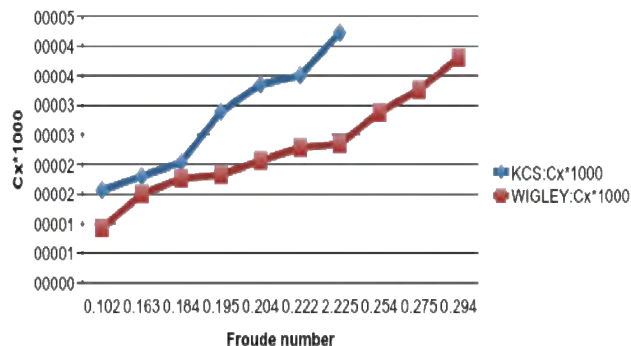


Рис. 1. Зависимость общего коэффициента сопротивления от формы корпуса судна: тело Вигли и контейнерное судно KCS

Сравнение полученного решения (CFD) с экспериментальными результатами (EFD) [8] и анализ влияния модели турбулентности позволили сделать следующие выводы:

- CFD результаты превышают EFD значения на 0,17%, что позволяет судить о достаточной точности;
- применение DES SST модели турбулентности позволило получить более качественную картину турбулентного потока в кормовой оконечности судна, разница с результатами моделирования k-omega SST составила 3.148%.

По итогам проведенного анализа, полученные результаты могут быть использованы в исследовании степени влияния гидродинамических сил и моментов при условиях взаимодействия судов. Данные изолированного корпуса могут быть применены в качестве начальных значений для сравнения со значениями взаимодействующих корпусов. Полученные данные для зависимости общего сопротивления от формы корпуса указывают на необходимость моделирования реальной геометрии судна, так как это позволит получить более однозначную и качественную картину взаимного влияния.

4.2. Моделирование гидродинамического взаимодействия судов

Основываясь на заключениях предыдущих параграфов, моделирование гидродинамического взаимодействия судов проводилось для двух корпусов KCS в случае обгонного движения. Согласно результатам, полученным в работах [9,11] числа Фруда определялись следующим образом:

$$Fn_i = \sqrt{\frac{V_1^2 - V_1 V_2 + V_2^2}{gL_i}} \quad (2)$$

Такой подход позволяет учитывать влияние скоростей движения обоих судов, в том числе в задаче обхода стоящего судна ($V=0$ м/с).

Приведенные далее зависимости соответствуют числу Фруда $0,1685$. В рамках исследования были получены данные для нескольких значений, однако для представления общей качественной картины и количественной оценки в рамках публикации, можно ограничить данные одним значением.

Качественное изменение сил и моментов на корпусах судов, в процессе обгона приведено далее на рисунках 2, 3, 4. Здесь судно (основное) с наибольшей скоростью, являющееся целью изучения, представлено жирной линией на графиках. Так же следует учитывать направление координатных осей для правильной оценки знаков:

- продольная составляющая силы: рост сопротивления на корпусе при отрицательном знаке;
- поперечная составляющая силы: отрицательное значение при смещении в противоположную сторону от судна партнера;
- вращающий момент: положительное значение в случае разворота судна в сторону от судна партнера.

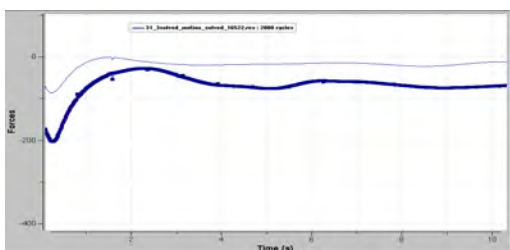


Рис. 2. Качественная картина изменение продольной составляющей сил в процессе обгонного движения: основное судно и судно цель

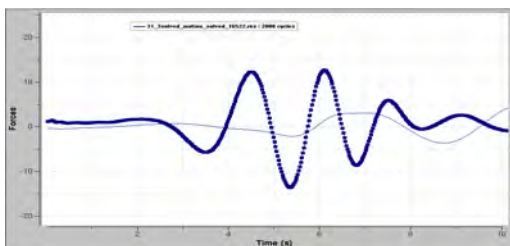


Рис. 3. Качественная картина изменение поперечной составляющей сил в процессе обгонного движения: основное судно и судно цель

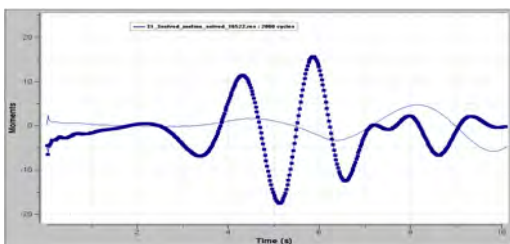


Рис. 4. Качественная картина изменение вращающего момента в процессе обгонного движения: основное судно и судно цель

Выводы

На основе произведенного качественного и количественного анализа результатов, на примере параграфа 4.2 и по итогам общего исследования были сделаны следующие заключения:

1. полученные результаты численного моделирования для случая маневра обгон отвечают результатам экспериментальных данных и теоретических исследованиям, проведенным ранее [12,13]. Характер изменения составляющих сил и моментов имеет следующую картину:
 - в продольном направлении, первоначально возникает рост сопротивления, а во втором периоде – снижение сопротивления;
 - в начале маневра происходит увеличение возникающей силы – отворачивание (в момент когда носовые оконечности судов находятся примерно на одном уровне), затем происходит сближение, после чего снова отворачивание (корма основного и целевого судов находятся примерно на одном уровне);
 - вращающий момент характеризуется лишь двумя пиковыми значениями: отворачивание (нос целевого судна)- притягивание (корма целевого судна).
2. минимальное число узлов расчетной области должно быть значительно выше, чем в случае моделирования для одного судна, так как задача не является симметричной по характеру действия сил.
3. характер потока вблизи корпуса судна значительно осложняет задачу численного моделирования, в связи с проблемой использования решений для пристеночной функции и сохранения физичности решения, что зачастую приводит к ухудшению сходимости расчета;
4. на сегодняшний день в основном доступны результаты исследований, проведенных для стационарного обтекания, что дает лишь общую картину и глобальный характер действующих сил и моментов. В связи с ограниченным количеством имеющихся экспериментальных исследований, проверка и оценка точности численных результатов является затруднительной: узкий спектр исследованных тел и влияющих параметров;
5. Сравнительный анализ с результатами исследований, основанных на допущении о потенциальности течения, показал, что учет сил вязкой природы в задачах гидродинамического взаимодействия имеет значительное влияние на полученные значения. Наибольшее влияние наблюдалось при движении одного из судов с следе судна, движущегося перед ним. Таким образом выбор модели турбулентности может оказывать влияние на качество результатов.

6. Методы исследования:

К обсуждению могут быть вынесены следующие вопросы:

- применение технологии скользящих вычислительных доменов и влияние на точность полученных результатов;
- применение гибридных моделей турбулентности в задачах гидродинамического взаимодействия;
- необходимость проведения экспериментального исследования случая задачи обгонного движения для наиболее исследованных с точки зрения численных и теоретических экспериментов моделей корпусов.

Литература

1. Convention on the International Preventing Collisions at Sea (COLREG), IMO, 1972, Available on Internet: http://www.imo.org/Conventions/mainframe.asp?topic_id=260A. N. Cockroft and J.N.F. Lameijer, A guide to the collision avoidance rules, (1972)
2. Megdunarodnie pravila predupregdenija stolknovenija sudov (MPPSS-72)
3. Proceedings of 26th ITTC – Volume I, The Resistance Committee Final Report and Recommendations to the 26th ITTC, (2011).
4. ANSYS. Fluent 6.3 Documentation.
5. NUMECA FINETM/Marine v3.1 Documentation.
6. STAR-CCM+ 5.06 Documentation.
7. N.Sakamoto,* R. V. Wilson,*†, F. Stern*, 'Reynolds-Averaged Navier-Stokes Simulations for High-Speed Wigley Hull in Deep and Shallow Water', *Iowa Institute of Hydraulic Research – Hydroscience and Engineering, The University of Iowa, Iowa, USA; †Currently: UT SimCenter at Chattanooga, The University of Tennessee at Chattanooga, Tennessee, USA, Journal of Ship Research, Volume 51, Number 3, pp. 187-203, (2007).
8. L. Larsson, F. Stern, and M. Visonneau, A Workshop on Numerical Ship Hydrodynamics Proceedings, vol. 2, Gothenburg, Sweden, (2010).
9. A. Gronarz, DST, Duisburg, DE, A new approach in modeling the interaction forces, Proceedings of the 2nd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: Ship to Ship Interaction, Conference Proceedings. Royal Institution of Naval Architects, (2011).
10. A. Zubova, D. Nikushchenko, Ship to ship interaction investigations with the use of CFD methods, 3rd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: with non-exclusive focus on Ship Behaviour in Locks, Conference Proceedings. Royal Institution of Naval Architects, Ghent University, (2013).
11. J. M. Fonfach, S. Sutulo, Numerical Study of the Hydrodynamic Interaction between Ships in Viscous and Inviscid flow, Proceedings of the 2nd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: Ship to Ship Interaction, Conference Proceedings. Royal Institution of Naval Architects, (2011).
12. I.W. DAND, Some measurements of interaction between ship models passing on parallel courses, Nat. Maritime Inst. Report R 108, (1981).
13. Newton, R. N., 'Some notes on interaction effects between ships close aboard in deep water', David Taylor Model Basin, Hydromechanics Laboratory, Washington D.C., USA, Rep. 1461, 1969
14. Convention on the International Preventing Collisions at Sea (COLREG), IMO, 1972, Available on Internet: http://www.imo.org/Conventions/mainframe.asp?topic_id=260A. N. Cockroft and J.N.F. Lameijer, A guide to the collision avoidance rules, (1972)
15. Megdunarodnie pravila predupregdenija stolknovenija sudov (MPPSS-72)
16. Proceedings of 26th ITTC – Volume I, The Resistance Committee Final Report and Recommendations to the 26th ITTC, (2011).
17. ANSYS. Fluent 6.3 Documentation.
18. NUMECA FINETM/Marine v3.1 Documentation.
19. STAR-CCM+ 5.06 Documentation.
20. N.Sakamoto,* R. V. Wilson,*†, F. Stern*, 'Reynolds-Averaged Navier-Stokes Simulations for High-Speed Wigley Hull in Deep and Shallow Water', *Iowa Institute of Hydraulic Research – Hydroscience and Engineering, The University of Iowa, Iowa, USA; †Currently: UT SimCenter at Chattanooga, The University of Tennessee at Chattanooga, Tennessee, USA, Journal of Ship Research, Volume 51, Number 3, pp. 187-203, (2007).
21. L. Larsson, F. Stern, and M. Visonneau, A Workshop on Numerical Ship Hydrodynamics Proceedings, vol. 2, Gothenburg, Sweden, (2010).
22. A. Gronarz, DST, Duisburg, DE, A new approach in modeling the interaction forces, Proceedings of the 2nd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: Ship to Ship Interaction, Conference Proceedings. Royal Institution of Naval Architects, (2011).
23. A. Zubova, D. Nikushchenko, Ship to ship interaction investigations with the use of CFD methods, 3rd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: with non-exclusive focus on Ship Behaviour in Locks, Conference Proceedings. Royal Institution of Naval Architects, Ghent University, (2013).
24. J. M. Fonfach, S. Sutulo, Numerical Study of the Hydrodynamic Interaction between Ships in Viscous and Inviscid flow, Proceedings of the 2nd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: Ship to Ship Interaction, Conference Proceedings. Royal Institution of Naval Architects, (2011).

25. I.W. DAND, Some measurements of interaction between ship models passing on parallel courses, Nat. Maritime Inst. Report R 108, (1981).

26. *Newton, R. N.*, 'Some notes on interaction effects between ships close aboard in deep water', David Taylor Model Basin, Hydromechanics Laboratory, Washington D.C., USA, Rep. 1461, 1969.

References

1. Convention on the International Preventing Collisions at Sea (COLREG), IMO, 1972, Available on Internet: http://www.imo.org/Conventions/mainframe.asp?topic_id=260A. N. Cockroft and J.N.F. Lameijer, A guide to the collision avoidance rules, (1972)

2. Megdunarodnie pravila predupregdenija stolknovenija sudov (MPPSS-72)

3. Proceedings of 26th ITTC – Volume I, The Resistance Committee Final Report and Recommendations to the 26th ITTC,(2011).

4. ANSYS. Fluent 6.3 Documentation.

5. NUMECA FINETM/Marine v3.1 Documentation.

6. STAR-CCM+ 5.06 Documentation.

7. N.Sakamoto,* R. V. Wilson,*†, F. Stern*, 'Reynolds-Averaged Navier-Stokes Simulations for High-Speed Wigley Hull in Deep and Shallow Water', *Iowa Institute of Hydraulic Research – Hydrosience and Engineering, The University of Iowa, Iowa, USA; †Currently: UT SimCenter at Chattanooga, The University of Tennessee at Chattanooga, Tennessee, USA, Journal of Ship Research, Volume 51, Number 3, pp. 187-203, (2007).

8. *L. Larsson, F. Stern, and M. Visonneau*, A Workshop on Numerical Ship Hydrodynamics Proceedings, vol. 2, Gothenburg, Sweden, (2010).

9. *A. Gronarz, DST, Duisburg*, DE, A new approach in modeling the interaction forces, Proceedings of the 2nd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: Ship to Ship Interaction, Conference Proceedings. Royal Institution of Naval Architects, (2011).

10. *A. Zubova, D. Nikushchenko*, Ship to ship interaction investigations with the use of CFD methods, 3rd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: with non-exclusive focus on Ship Behaviour in Locks, Conference Proceedings. Royal Institution of Naval Architects, Ghent University, (2013).

11. *J. M. Fonfach, S. Sutulo*, Numerical Study of the Hydrodynamic Interaction between Ships in Viscous and Inviscid flow, Proceedings of the 2nd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: Ship to Ship Interaction, Conference Proceedings. Royal Institution of Naval Architects, (2011).

12. I.W. DAND, Some measurements of interaction between ship models passing on parallel courses, Nat. Maritime Inst. Report R 108, (1981).

13. *Newton, R. N.*, 'Some notes on interaction effects between ships close aboard in deep water', David Taylor Model Basin, Hydromechanics Laboratory, Washington D.C., USA, Rep. 1461, 1969

14. Convention on the International Preventing Collisions at Sea (COLREG), IMO, 1972, Available on Internet: http://www.imo.org/Conventions/mainframe.asp?topic_id=260A. N. Cockroft and J.N.F. Lameijer, A guide to the collision avoidance rules, (1972)

15. Megdunarodnie pravila predupregdenija stolknovenija sudov (MPPSS-72)

16. Proceedings of 26th ITTC – Volume I, The Resistance Committee Final Report and Recommendations to the 26th ITTC,(2011).

17. ANSYS. Fluent 6.3 Documentation.

18. NUMECA FINETM/Marine v3.1 Documentation.

19. STAR-CCM+ 5.06 Documentation.

20. N.Sakamoto,* R. V. Wilson,*†, F. Stern*, 'Reynolds-Averaged Navier-Stokes Simulations for High-Speed Wigley Hull in Deep and Shallow Water', *Iowa Institute of Hydraulic Research – Hydrosience and Engineering, The University of Iowa, Iowa, USA; †Currently: UT SimCenter at Chattanooga, The University of Tennessee at Chattanooga, Tennessee, USA, Journal of Ship Research, Volume 51, Number 3, pp. 187-203, (2007).

21. *L. Larsson, F. Stern, and M. Visonneau*, A Workshop on Numerical Ship Hydrodynamics Proceedings, vol. 2, Gothenburg, Sweden, (2010).

22. *A. Gronarz, DST, Duisburg*, DE, A new approach in modeling the interaction forces, Proceedings of the 2nd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: Ship to Ship Interaction, Conference Proceedings. Royal Institution of Naval Architects, (2011).

23. *A. Zubova, D. Nikushchenko*, Ship to ship interaction investigations with the use of CFD methods, 3rd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: with non-exclusive focus on Ship Behaviour in Locks, Conference Proceedings. Royal Institution of Naval Architects, Ghent University, (2013).

24. *J. M. Fonfach, S. Sutulo*, Numerical Study of the Hydrodynamic Interaction between Ships in Viscous and Inviscid flow, Proceedings of the 2nd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: Ship to Ship Interaction, Conference Proceedings. Royal Institution of Naval Architects, (2011).

25. I.W. DAND, Some measurements of interaction between ship models passing on parallel courses, Nat. Maritime Inst. Report R 108, (1981).

26. *Newton, R. N.*, 'Some notes on interaction effects between ships close aboard in deep water', David Taylor Model Basin, Hydromechanics Laboratory, Washington D.C., USA, Rep. 1461, 1969.

УДК 629.12.001

ФОРМИРОВАНИЕ ОБЛИКА ПОДВОДНОГО СРЕДСТВА ДВИЖЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Жестков Кирилл Геннадьевич, доцент кафедры конструкции
и технической эксплуатации судов
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: kirillzhestkov@rambler.ru

Ткаченко Игорь Вячеславович, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой гидроаэромеханики и морской акустики
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия

Чепурко Сергей Иванович, аспирант кафедры гидроаэромеханики и морской акустики
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются результаты трехмерного параметрического моделирования основного и наружного корпусов подводного средства движения специального назначения. Разработаны соответствующие геометрические и конечно-элементные модели основных корпусных конструкций. Выполнены проработки геометрии наружного корпуса в сочетании с численным анализом гидродинамических характеристик объекта. Произведена расчетная оценка основного корпуса с акриловой полусферой в качестве носовой концевой переборки. Определены нестандартные конструктивные элементы, подлежащие обязательному согласованию с Российским морским Регистром судоходства. Основные идеи и предложения по выбору параметров конструктивных элементов и компоновки подводного аппарата выработаны при выполнении научно-исследовательской работы и должны стать основой для практического проектирования на стадии технического предложения.

Ключевые слова: подводное средство движения, подводный аппарат, основной корпус, наружный корпус, параметрическое проектирование, трехмерное моделирование.

THE CONCEPT DEVELOPING OF THE SPECIAL APPLICATION UNDERWATER VEHICLE BASED ON 3D MODELING

Zhestkov Kirill Gennadievich, the associate professor of DEPARTMENT OF SHIP
STRUCTURES AND SHIP TECHNICAL APPLICATIONS
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia
E-mail: kirillzhestkov@rambler.ru

Tkachenko Igor Vyacheslavovich, the professor, Dr.Sci.Tech., the Head of DEPARTMENT
OF HYDROMECHANICS AND MARINE ACOUSTICS
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia

Chepurko Sergey Ivanovich, the PhD student of DEPARTMENT OF
HYDROMECHANICS AND MARINE ACOUSTICS
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia

ABSTRACTS

The 3D parametric modeling results for the outer and pressure hulls of the special underwater vehicle are considered. The adaptive geometric and finite element models of the main hull structures were built. There were performed several outer case geometric layouts in conjunction with a numerical hydrodynamic analysis regarding the subject. The for pressure bulkhead made as acrylic hemisphere was analytically assessed. The non-standard structural units are to be checked by the Russian Marine Bureau of Shipping. Purposed structural options and the common submersible layout were designed in process of the R&D job. Those results are going to be practically taken into account at the design stage of the technical suggestion.

Key words: underwater vehicle, manned submersible, pressure hull, outer case, parametric design, 3D modeling.

Введение

В начальных стадиях исследовательского проектирования подводного средства движения специального назначения – многоцелевого обитаемого подводного аппарата (ОПА) для сверхмалых глубин – был выбран прототип ОПА с оценкой общепроектных компоновочных решений, выполнены аналитические и численные оценки прочности основных корпусных конструкций и расчетным путем определены гидродинамические характеристики наружного корпуса [2], [4].

На последующих этапах производилось построение трехмерных поверхностных и твердотельных параметрических моделей, проводилась проверка численными методами результатов, полученных аналитически, осуществлялась верификация разработанных расчетных моделей. Также выполнялось согласование компоновочных решений по конструкциям наружного и основного корпусов.

Произведена подготовка к экспериментальному определению характеристик внешнего обтека-

ния при движении ОПА на прямом и косом курсах и при пространственном маневрировании. По результатам продувок в аэродинамической трубе подбирается мощность главных гребных электродвигателей. Кроме того, подлежит определению мощность подруливающих устройств, исходя из наибольших буксировочных сопротивлений в поперечном и вертикальном направлениях.

1. Параметрические модели основного и наружного корпусов

Трехмерные параметрические модели основного корпуса ОПА, прочных модулей и наружного корпуса разработаны в системах трехмерного моделирования CATIA v.5 и Solid Works (Рис. 1). За основу принималась ранее выполненная компоновка основных элементов корпуса и общего расположения аппарата, приведенная в [2].

Конечно-элементная модель основного корпуса (ОК) и прочного модуля ОПА разработана в среде ANSYS v.15 (Рис. 2).

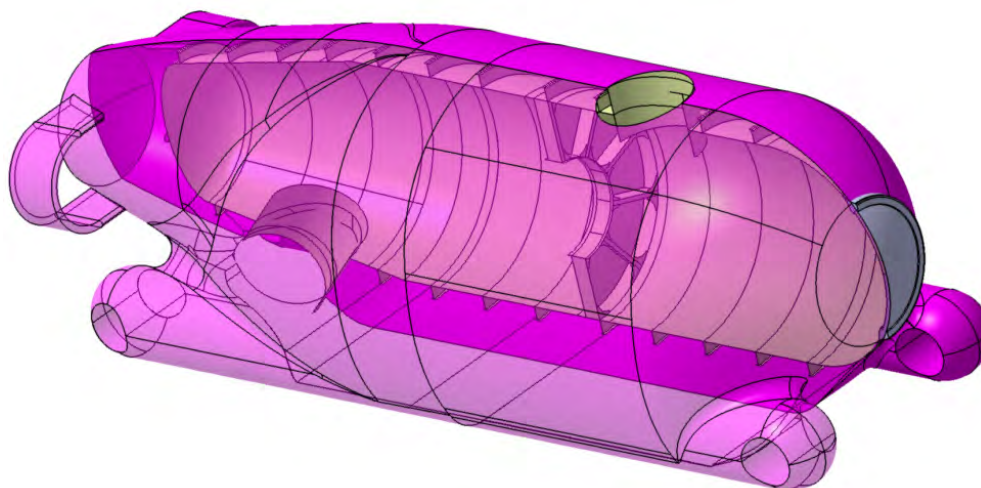


Рис. 1. Трехмерные параметрические модели основного и наружного корпусов обитаемого ПА специального назначения

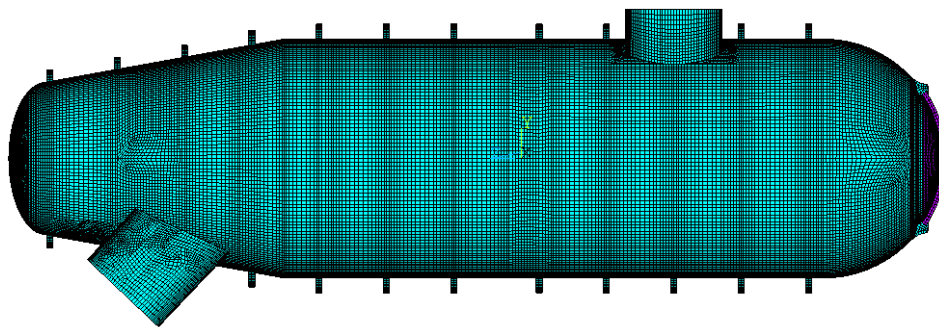


Рис. 2. Конечно-элементная модель основного корпуса ОПА

Сетка конечных элементов (КЭ) построена с учетом рекомендаций, приведенных в [3]. Тип конечных элементов, принятый в расчетной модели, – параболический КЭ SHELL281. Данный тип КЭ обеспечивает определение суммарных осевых напряжений в поперечных сечениях оболочек с высокой точностью при умеренной степени дискретизации расчетной модели. Характерный размер КЭ SHELL281 вдоль образующей оболочки принят равным $0,2\sqrt{r\delta}$ (r и δ – радиус и толщина оболочки) в сочетании со сгущением вблизи зон краевых эффектов, т.е. в районах переходов по толщине, у поперечных ребер жесткости и жестких связей, вблизи комингсов входных люков, в изломе образующей ОК, в узлах соединения концевых переборок с цилиндрической и конической оболочками.

Для моделирования акриловой оболочки иллюминатора и подкрепляющего кольца принят твердотельный параболический КЭ SOLID186.

2. Прочность основных корпусных конструкций

2.1. ОК исходной компоновки ОПА

С применением численных расчетных моделей рассмотрены задачи прочности и устойчивости основных корпусных конструкций ОПА и проверены расчетные запасы, принятые на предыдущей стадии исследовательского проектирования. Расчетным путем подтверждены основные выводы, сделанные на основе правил Российского морского Регистра судоходства [1] и, таким образом, удовлетворены все основные критерии прочности и устойчивости основных конструкций.

Критерий местной устойчивости служит главным определяющим условием для толщины обшивки ОК (Рис. 4). Прочность обшивки и шпангоутов с отклонениями формы обеспечены со значительными запасами (Рис. 3). Общая устойчивость отсеков и устойчивость шпангоутов от завала достаточны и обеспечены с избыточными запасами, которые могут быть использованы при последующей модификации конструкции носовой концевой переборки ОПА.

Моделирование местной устойчивости, как фактора, определяющего несущую способность ОК, выполнялось на основе полной КЭ модели

корпуса. Отличие аналитических, полученных по правилам Регистра [1], и численных результатов расчета составило около 6 %.

Совпадение значений критических давлений общей устойчивости, полученных аналитически и численно с КЭ моделированием фактических конструктивных особенностей основного корпуса ОПА, обеспечивается с точностью до 10-15%.

Прочность ОК в районах крупногабаритного сварного насыщения – входного и водолазного люков в двух отсеках ОПА – обеспечена выбором их конструктивных параметров по правилам Регистра [1]. В районе установки наклонного водолазного люка разрезаются два соседних шпангоута. Угол наклона оси комингса относительно нормали к обшивке конической оболочки 33° превышает допустимый предел 10° по правилам Регистра [1].

Предусмотрена установка продольных ребер, подкрепляющих разрезанные шпангоуты, в соответствии с указаниями правил [1]. Пересечение шпангоутов комингсами оформляется установкой подкрепляющих мягких книц.

Наибольшие суммарные напряжения, действующие в обшивке ОК, вблизи комингса водолазного люка составляют до 200 МПа, при расчетном давлении 0,75 МПа.

Установка усиленных шпангоутов вблизи комингсов не требуется, поскольку устойчивость отсеков ОПА обеспечена со значительным избыточным запасом. Это же подтверждается результатами КЭ анализа устойчивости с учетом сварки комингсов.

Кроме того, в соответствии с правилами Регистра усилению подлежат два шпангоута, соседних с комингсом водолазного люка, которые установлены вблизи жестких связей – наружного излома и кормовой концевой переборки. Следовательно, усиление таких шпангоутов по критерию общей устойчивости ОК оказывается неэффективным.

2.2. Проработка ОК с акриловой носовой полусферой

Выполнена проработка носовой концевой переборки-иллюминатора из акрилового пластика¹ в

¹ С модулем нормальной упругости 2950 МПа и коэффициентом Пуассона 0,25 [7].

виде целиковой полусферы для удобства монтажа оборудования в первом отсеке, для улучшения обзорности и гидродинамического обтекания в сочетании с плавным переходом формы наружного корпуса.

Подобные конструкции применялись на аппаратах типа *Вол-Л1*, *Мерmaid 4*, некоторых ПА *Perry*-класса [5]. Но в отличие от них в данном проекте полусферический акриловый сегмент закреплен в стальном бандажном кольце, обеспечивающем для оболочки иллюминатора опорный контур через разъемное фланцевое соединение с основным корпусом. Разработано фланцевое соединение концевой переборки с оболочкой основного корпуса (с 1-м отсеком) в различных вариантах конструктивного исполнения с учетом посадки менее жесткой конструкции на более жесткую в соответствии с рекомендациями правил Регистра [1].

Наличие достаточно податливой носовой переборки из акрилового пластика исключает возможность принять такую переборку в качестве опоры отсека основного корпуса. По этой причине

представляется целесообразным обеспечить общую устойчивость отсека и прочность шпангоутов с отклонениями от правильной круговой формы путем некоторого усиления полок шпангоутов, в результате чего было принято решение использовать либо симметричный катаный полосоубульбовый профиль №10, либо эквивалентный сварной тавровый профиль. Применение одного усиленного шпангоута вместо носовой поперечной переборки нецелесообразно, поскольку увеличенная высота профиля наружного усиленного шпангоута приведет к росту межкорпусного пространства и ширины ОПА.

Расчет прочности шпангоутов с максимальными радиальными отклонениями $0,01r$ по наиболее опасной нижней форме общей потери устойчивости выполнен для варианта с исключением из рассмотрения жесткости акриловой носовой переборки (Рис. 5). Напряжения в шпангоутах при указанных отклонениях с учетом геометрически нелинейного решения составляют до 100 МПа.

SBQV

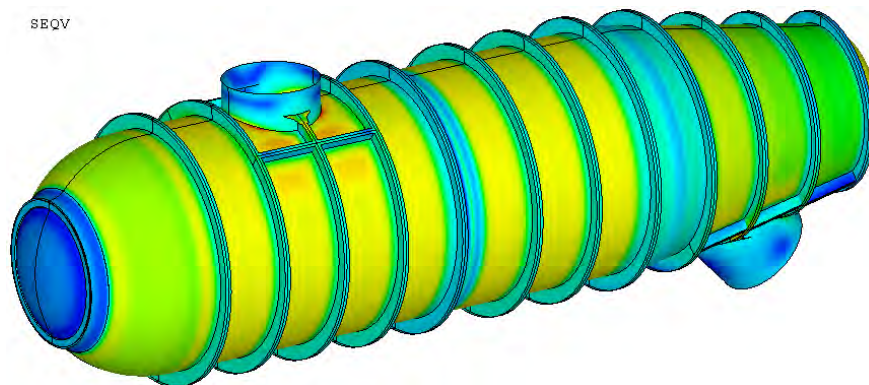


Рис. 3. Моделирование напряженно-деформированного состояния ОК:
Распределение эквивалентных напряжений

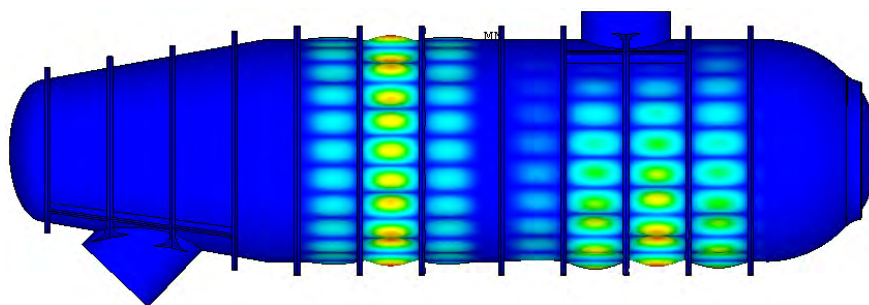


Рис. 4. Моделирование местной устойчивости ОК

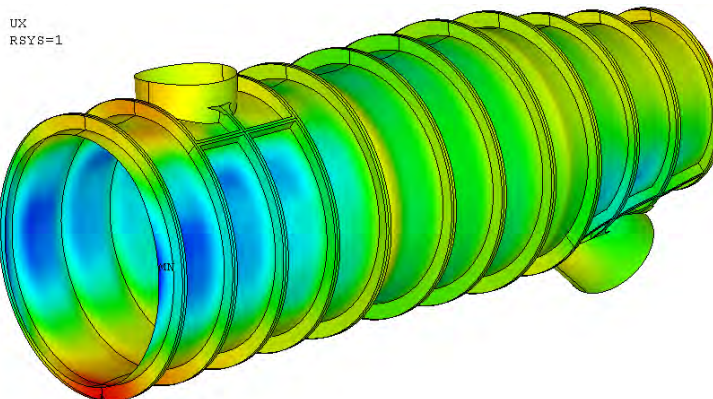


Рис. 5. Моделирование напряженно-деформированного состояния и общей устойчивости ОК с начальными отклонениями формы шпангоутов: Распределение радиальных перемещений

3. Расчетное и экспериментальное определение гидродинамических характеристик наружного корпуса

Для определения гидродинамических характеристик ОПА были выполнены экспериментальные и численные исследования. На рис. 6 показана модель аппарата, установленная в аэродинамической трубе СПБГМТУ для проведения круговых продувок по углам дрейфа и дифферента.

В основе математической модели движения жидкости лежат осредненные аналоги уравнений Навье-Стокса. В настоящей работе использовались уравнения Рейнольдса, дополненные классической $k-\epsilon$ моделью турбулентности. Расчеты выполнялись в открытом некоммерческом пакете OpenFOAM на вычислительном кластере

СПБГМТУ. На рис. 7, а показано распределение давления по поверхности наружного корпуса. Максимум давлений приходится на носовую оконечность корпуса и обтекатели передних подруливающих устройств. Основной срыв вихрей наблюдается в кормовой оконечности (Рис. 7, б), что обусловлено малым отношением длины к ширине тела.

Последующее совершенствование формы связано с введением плавных переходов между акриловым иллюминатором и наружным корпусом, в районах установки прочных модулей и гребных электродвигателей наружного исполнения, переходов корпуса в нижних частях носовой и кормовой оконечностей.



Рис. 6. Модель ПА, установленная в аэродинамической трубе СПБГМТУ

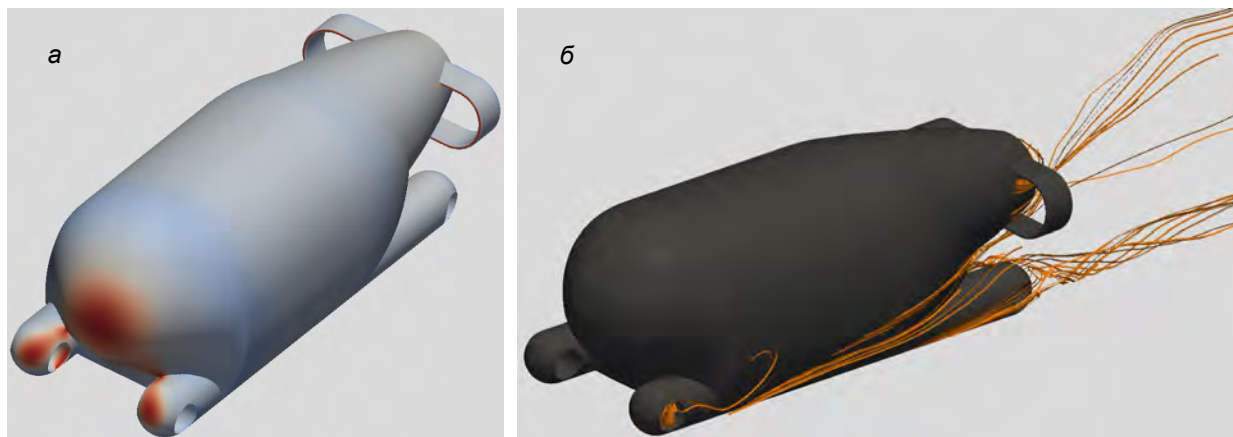


Рис. 7. Численное моделирование обтекания наружного корпуса ОПА:
а – распределение давления по корпусу, б – траектории движения жидких частиц возле корпуса

Заключение

Исследовательское проектирование по теме «Стилет» позволило сформировать облик одного из вариантов компоновки подводного средства движения специального назначения. Концепция данного ОПА дополнена альтернативным предложением по применению акриловой полусферической оболочки для носовой концевой переборки. Одно из преимуществ акриловой полусферы – возможность выполнить бандажное кольцо сварным из листового материала и избежать точеных деталей большого диаметра с целью упрощения производства силами завода-строителя без заказа крупных поковок.

При проведении дальнейших работ и переходе к практической стадии проектирования, – разработке технического предложения (в рамках аванпроекта), предусматривается:

- дополнительное рассмотрение альтернативной марки стали ОК D40S, как материала с характеристиками повышенной коррозионной стойкости и с более стабильными свойствами, менее зависящими от поставщика. Отсюда, целесообразно рассмотреть возможное увеличение глубины погружения ОПА;

- согласования с Регистром таких узлов, не подпадающих под требования правил [1], как:

- отсек с полусферической носовой переборкой из акрилового пластика;
- наклонный комингс, установленный с превышением угла наклона оси и пересекающий два шпангоута;
- плоская водонепроницаемая поперечная переборка с переходным люком, рассчитанная на полное забортное давление;

- применение макетирования внутренних объемов ОПА в натуральную величину для определения однозначного соответствия численности экипажа, диаметра и водоизмещения ОПА, а также для отработки действий водолазов в снаряжении и с оборудованием, с учетом предполагаемой модели использования ОПА. Макетирование требуется произвести на трех диаметрах основного корпуса: 1,2 м, 1,4 м и 1,6 м. Это позволит рассмотреть наиболее вероятный диапазон водоизмещений для принятой компоновки корпуса в пределах от 8 до 12 т. При этом, уменьшение диаметра корпуса в кормовой части ограничено, поскольку люк для выхода водолазов должен устанавливаться с выполнением требования по наименьшему углу сварки, под которым выполняется притыкание обшивки ОК и полок шпангоутов к оболочке наклонного комингса;

- выбор подходящих подруливающих устройств с погружными электродвигателями, по аналогии с обитаемыми подводными аппаратами [6], в сочетании с возможностями балластной системы замещения грузов для одержания ОПА при выходе водолазов. Необходимый объем цистерны замещения – не менее 0,5-0,6 м³. Целесообразно выполнить совмещение функций системы замещения с уравнильной и дифференциальной на базе двух прочных цистерн. Должна быть проработана концепция быстрого погружения (и, возможно, аварийного всплытия) ОПА при дополнительном вертикальном усилении от подруливающих устройств.

Литература

1. Правила классификации и постройки обитаемых подводных аппаратов, судовых водолазных комплексов и пассажирских подводных аппаратов. СПб.: Российский морской Регистр судоходства, 2003.
2. Жестков К.Г. Концептуальное проектирование многоцелевого обитаемого подводного аппарата для сверхмалых глубин и расчетная оценка конструкций корпуса // Морские интеллектуальные технологии. 2013. № 4. С. 4–10.

3. *Жестков К.Г.* Определение несущей способности цилиндрической оболочки со шпангоутами с учетом фактических производственных отклонений. Материалы 11-й международной конференции пользователей ANSYS/CADFEM. Москва, 14-16 октября 2014.

4. *Дукарский А.О., Ткаченко И.В., Тряскин Н.В., Чепурко С.И.* Влияние формы корпуса подводного аппарата на его гидродинамические характеристики // Морские интеллектуальные технологии. 2013. № 4. С. 20–23

5. *Войтов Д.В.* Подводные обитаемые аппараты. М.: АСТ, Астрель, 2002.

6. Самоходные необитаемые подводные аппараты. Ю.А. Боженнов, А.П. Борков, В.М. Гаврилов и др. под общей редакцией И.Б. Иконникова. – Л.: Судостроение, 1986.

7. Spartech Polycast Acrylic Sheet; General Catalog. Stamford, CT, USA, 2013.

References

1. Pravila klassifikacii i postrojki obitaemyh podvodnyh apparatov, sudovyh vodolaznyh kompleksov i passazhirskih podvodnyh apparatov. SPb.: Rossijskij morskoy Registr sudohodstva, 2003.

2. *Zhestkov K.G.* Konceptual'noe proektirovanie mnogocelevogo obitaemogo podvodnogo apparata dlja sverhmalyh glubin i raschetnaja ocenka konstrukcij korpusa. Morskie intellektual'nye tehnologii. 2013. № 4. S. 4–10.

3. *Zhestkov K.G.* Opredelenie nesushhej sposobnosti cilindricheskoj obolochki so shpangoutami s uchetom fakticheskikh proizvodstvennyh otklonenij. Materialy 11-j mezhdunarodnoj konferencii pol'zovatelej ANSYS/CADFEM. Moscow, 14-16 oktjabrja 2014.

4. *Dukarskij A.O., Tkachenko I.V., Trjaskin N.V., Chepurko S.I.* Vlijanie formy korpusa podvodnogo apparata na ego gidrodinamicheskie harakteristiki. Morskie intellektual'nye tehnologii. 2013. № 4. S. 20–23

5. *Vojtov D.V.* Podvodnye obitaemye apparaty. M.: AST, Astrel', 2002.

6. Samohodnye neobitaemye podvodnye apparaty. Ju.A. Bozhenov, A.P. Borkov, V.M. Gavrilov i dr. pod obshhej redakciej I.B. Ikonnikova. L.: Sudostroenie, 1986.

7. Spartech Polycast Acrylic Sheet; General Catalog. Stamford, CT, USA, 2013.

УДК 532.517

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ЖИДКОСТИ В ТАНКАХ ГАЗОВОЗОВ

Елизарова Татьяна Геннадьевна, профессор, доктор физико-математических наук
Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН
Москва, Россия
E-mail: telizar@mail.ru

Сабури́н Дми́трий Серге́евич, аспирант
Московский Государственный Университет имени М. В. Ломоносова
Москва, Россия
E-mail: ndmitry@list.ru

Ткаченко Игорь Вячеславович, доктор технических наук,
профессор кафедры гидроаэромеханики и морской акустики
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: igor.v.tkachenko@mail.ru

Тряски́н Ники́та Влади́мирович, аспирант кафедры гидроаэромеханики
и морской акустики
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: nikita.tryaskin@smtu.ru

АННОТАЦИЯ

В работе приводятся результаты численного моделирования колебаний сжиженного газа в грузовом танке газовоза мембранного типа при его соударении с ледовой преградой. Основная цель настоящей работы состоит в разработке метода моделирования колебательных движений жидкости на основе двухмерных регуляризованных уравнениях мелкой воды. Для настройки параметров численного алгоритма использовалось одномерное приближение. Расчёты были выполнены для 10% заполнения бака с учётом формы его дна для случая направления скорости судна вдоль плоскости симметрии бака и под углом к ней. Полученные картины течения и распределение нагрузок на стенки танка как качественно, так и количественно хорошо согласуются с результатами расчетов по модели движения вязкой жидкости, в основе которой лежат уравнения Рейнольдса, дополненные стандартной $k-\epsilon$ моделью турбулентности, и метод Volume of Fluid (VoF), позволяющий эффективно отслеживать поверхность раздела сжиженный газ – газ.

Ключевые слова: регуляризация, уравнения мелкой воды, колебания в топливных баках, танк, колебания сжиженного газа, нагрузки.

NUMERICAL MODELING OF LIQUID FLUCTUATIONS IN FUEL TANKS

Elizarova Tatyana Gennadievna, professor, Doctor of Physical and Mathematical Sciences
Institute for Mathematical Modelling of the Russian Academy of Sciences
Moscow, Russia
E-mail: telizar@mail.ru

Saburin Dmitriy Sergeevich, PhD student
M. V. Lomonosov Moscow State University
Moscow, Russia
E-mail: ndmitry@list.ru

Tkachenko Igor Vyacheslavovich, Dr.Sci.Tech.,
the professor of DEPARTMENT OF HYDROMECHANICS AND MARINE ACOUSTICS
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia
E-mail: igor.v.tkachenko@mail.ru

Tryaskin Nikita Vladimirovich, PhD Student of DEPARTMENT OF HYDROMECHANICS AND
MARINE ACOUSTICS
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia
E-mail: nikita.tryaskin@smtu.ru

ABSTRACTS

In the current work the results of numerical simulation for oscillations of liquefied gas in the cargo tanks of the membrane type Liquefied Natural Gas (LNG) carrier due to impact interaction with the ice barrier are presented. The main goal of the present study is development the new method for simulation of the oscillating flow based on the two-dimensional regularized Shallow-Water equations. The one-dimension approach is applied to setting the parameters of the numerical algorithm. The calculations performed for 10% filling of the tank. The obtained flow patterns and hydrodynamic pressure loads on the tank walls either qualitative or quantitatively good agree with the results of another simulations. The last were obtained using the Unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes equations (URANS), which coupled by standard $k-\epsilon$ turbulence model, and Volume of Fluid method (VoF). VoF allows to predict the interface between liquefied-gas and gas correctly.

Key words: regularization, shallow-water equation, sloshing.

Введение

Россия является одним из ведущих современных экспортеров нефти и газа. Важнейшим аспектом экспорта, наряду с непосредственно добычей топлива, является его транспортировка, которая осуществляется самым экономичным способом доставки груза - морским путем. При этом газ сжижается и закачивается в специальный топливный танк (рис. 1 и 2). Большинство месторождений находится за полярным кругом или в непосредственной близости от него, что определяет дополнительные сложности для транспортировки топлива. Поэтому суда-газовозы, работающие в арктических условиях, должны иметь ледовый класс, чтобы иметь возможность расчищать себе путь. При столкновении со льдиной жидкость в танке приходит в движение, и это движение может вызвать не только повреждения, но и разрушение стенки бака. Поэтому своевременной и важной является задача расчета колебаний жидкости в танках газовоза, их качественное описание и количественный расчет предельных нагрузок на стенки танка, вызванных сложными маневрами судна [1,2,3].

Согласно условиям технической безопасности, учитывающим конструкцию баков и толщину его стенок, транспортировка сжиженных газов допустима при заполнении бака меньше 15% и при его заполнении больше 75%. В первом случае помимо полных уравнений Навье-Стокса расчет возможен и с помощью двумерных уравнений мелкой воды [4]. Последнее позволяет существенно сократить времена счета, которые в этом случае составляют менее часа на персональном компьютере.



Рис. 1. Транспортировка газа морским путём

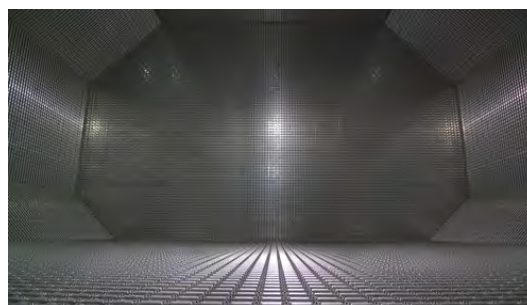


Рис. 2. Внутренний вид топливного бака

В данной работе рамках приближения мелкой воды проведено численное моделирование колебаний топлива в танке газовоза при его остановке после столкновения со льдиной. Расчеты выполнены для 10% заполнения бака с учетом формы его дна для случая направления скорости судна вдоль плоскости симметрии бака и под углом к ней. Получены картины течения и вычислены

распределения нагрузки на стенки бака. Проведено сопоставление расчета с данными, полученными при моделировании симметричного течения в приближении одномерных уравнений мелкой воды и в рамках трехмерных осредненных уравнений Навье-Стокса.

1. Результаты численного моделирования

1.1. Основные параметры задачи

Расчётной областью является ёмкость танка со следующими размерами: длина - 33.6 м, ширина - 29.8 м, высота - 23 м. Внешний вид ёмкости показан на рис. 2. Выберем неинерциальную систему координат, связанную с самим баком. В этой системе направим ось X вдоль движения судна, ось Z - противоположно ускорению свободного падения g , и ось Y - перпендикулярно осям X и Z (рис. 3).

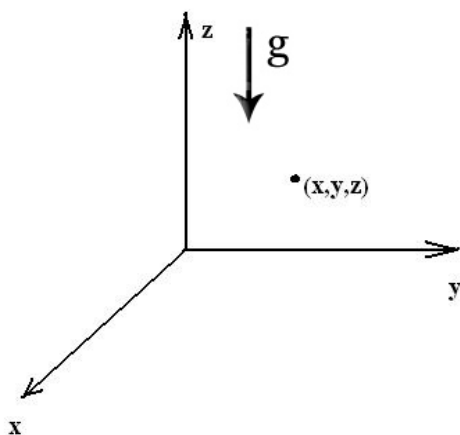


Рис. 3. Система координат

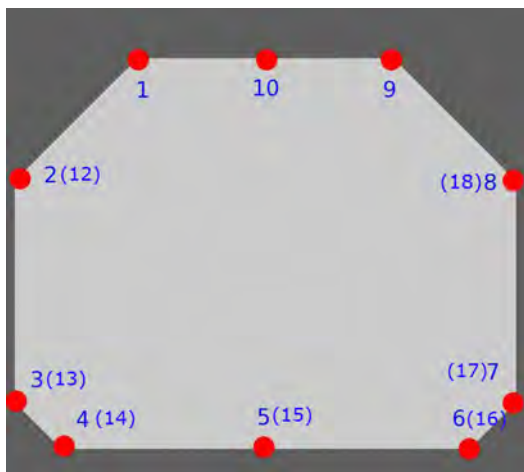


Рис. 4. Вертикальное сечение танка и обозначение реперных точек

На рис. 4 изображён поперечный срез ёмкости танка. В нижней части функция рельефа дна выглядит следующим образом:

$$b(x, y) = \begin{cases} 2.9 - y, & 0 \leq y \leq 2.9; \\ 0, & 2.9 \leq y \leq 26.9; \\ y - 26.9, & 26.9 \leq y \leq 29.8 \end{cases} \quad (1)$$

Размеры приведены в метрах.

Обозначим момент столкновения судна со льдиной $t = 0$. В этот начальный момент времени полагаем уровень жидкости $H(x, y) = b(x, y) + h(x, y) = 1.46$ м, что соответствует 10% заполнению бака. Здесь h - высота уровня жидкости над профилем дна.

Изменения во времени скорости движения судна-газовоза при его соударении с ледовым препятствием описываются полиномами шестой степени (рис. 5). Из графиков наглядно видно, что для всех трёх вариантов остановка судна происходит за время порядка 1 сек.

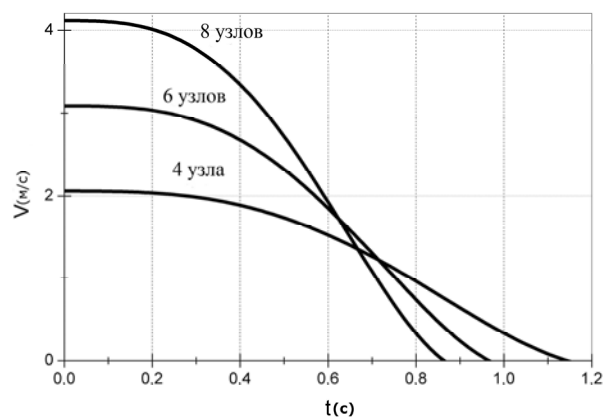


Рис. 5. Законы торможения судна-газовоза при его соударением с ледовым препятствием

Поведение жидкости в баке при внезапном торможении судна будем рассматривать в неинерциальной системе координат с помощью введения внешней силы $\vec{f} = (f_x, f_y)$, которая вычисляется на основе известного закона изменения скорости (рис. 5):

$$\vec{f}(t) = \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} \quad (2)$$

С практической точки зрения интерес представляет величина нагрузки на стенки бака в процессе остановки судна. Давление в баке P вычисляется как $P(x, t) = P_{atm} + gh(x, t)\rho$, где $\rho = 700$ кг/м³ - плотность жидкости, P_{atm} атмосферное давление, включая давление паров жидкости.

1.2. Уравнения гидродинамики в приближении мелкой воды

Данная задача может быть решена в рамках уравнений гидродинамики вязкой несжимаемой жидкости, записанных в приближении мелкой воды. В декартовой системе координат уравнения мелкой воды имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial u_x h}{\partial x} + \frac{\partial u_y h}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial u_x h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} (hu_x^2 + \frac{gh^2}{2}) + \frac{\partial}{\partial y} (hu_x u_y) &= \\ = hf_x - gh \frac{\partial b}{\partial x} - \mu u_x |u_x| & \quad (3) \\ \frac{\partial u_y h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (hu_x u_y) + \frac{\partial}{\partial y} (hu_y^2 + \frac{gh^2}{2}) &= \\ = hf_y - gh \frac{\partial b}{\partial y} - \mu u_y |u_y| & \end{aligned}$$

где $h(x, y, t)$ - высота жидкости над уровнем дна, $u_x(x, y, t)$ и $u_y(x, y, t)$ - компоненты скорости течения, $f_x(x, y, t)$ и $f_y(x, y, t)$ - составляющие внешней силы, $b(x, y)$ - рельеф дна, g - ускорение силы тяжести, μ - коэффициент трения, задаваемый из эмпирических соображений. Схема течения и обозначения приведены на рис. 6.

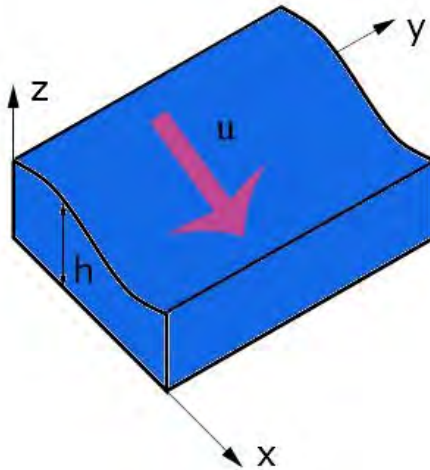


Рис. 6. Переменные уравнений мелкой воды

В начальный момент времени полагаем, что жидкость в танке неподвижна $u = 0$. Величина уровня жидкости известна и определяется из соотношения $H(x, y) = b(x, y) + h(x, y) = 1.46$ м, что соответствует 10% заполнению бака. В качестве граничных условий используем условия не-

протекания со скольжением для скорости и отражения для величины h :

$$u_n = 0, \quad \frac{\partial u_\tau}{\partial n} = 0, \quad \frac{\partial h}{\partial n} = 0$$

Здесь обозначено n - направление, перпендикулярное к границе области, τ - направление по касательной к границе области.

При колебаниях жидкости в баке могут образовываться зоны течения, в которых высота жидкости обращается в ноль - так называемые зоны сухого дна. Для описания течения с учётом таких зон с подвижной границей используется специальный алгоритм, позволяющий отслеживать границу с областями сухого дна.

2. Построение численного решения

2.1. Регуляризованные уравнения мелкой воды

Для численного решения уравнений мелкой воды будем использовать регуляризованный вид этих уравнений, который получается путём усреднения уравнений мелкой воды по некоторому малому промежутку времени [5]. Система регуляризованных уравнений мелкой воды (РУМВ) имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial j_{mx}}{\partial x} + \frac{\partial j_{my}}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial hu_x}{\partial t} + \frac{\partial j_{mx} u_x}{\partial x} + \frac{\partial j_{my} u_y}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{gh^2}{2} \right) &= \\ = h^* \left(f_x - g \frac{\partial b}{\partial x} \right) + \frac{\partial \Pi_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \Pi_{yx}}{\partial y} - \mu u_x |u_x| & \quad (4) \\ \frac{\partial hu_y}{\partial t} + \frac{\partial j_{mx} u_y}{\partial x} + \frac{\partial j_{my} u_y}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{gh^2}{2} \right) &= \\ = h^* \left(f_y - g \frac{\partial b}{\partial y} \right) + \frac{\partial \Pi_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \Pi_{yy}}{\partial y} - \mu u_y |u_y| & \end{aligned}$$

где использованы обозначения

$$\begin{aligned} h^* &= h - \tau \left(\frac{\partial hu_x}{\partial x} + \frac{\partial hu_y}{\partial y} \right) \\ j_{my} &= h(u_y - w_y), \quad j_{mx} = h(u_x - w_x) \\ w_x &= \frac{\tau}{h} \left(\frac{\partial (hu_x^2)}{\partial x} + \frac{\partial (hu_x u_y)}{\partial y} + gh \frac{\partial h}{\partial x} + gh \frac{\partial b}{\partial x} - hf_x \right) \\ w_y &= \frac{\tau}{h} \left(\frac{\partial (hu_x u_y)}{\partial x} + \frac{\partial (hu_y^2)}{\partial y} + gh \frac{\partial h}{\partial y} + gh \frac{\partial b}{\partial y} - hf_y \right) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
\Pi_{xx} &= u_x w_x^* + R^* + \Pi_{NSxx}, & \Pi_{yx} &= u_y w_x^* + \Pi_{NSyx} \\
\Pi_{xy} &= u_x w_y^* + \Pi_{NSxy}, & \Pi_{yy} &= u_y w_y^* + R^* + \Pi_{NSyy} \\
w_x^* &= \tau(hu_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + hu_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}(\frac{gh^2}{2}) + gh \frac{\partial b}{\partial x} - hf_x) \\
w_y^* &= \tau(hu_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + hu_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y}(\frac{gh^2}{2}) + gh \frac{\partial b}{\partial y} - hf_y) \\
R^* &= g\tau(u_x \frac{\partial}{\partial x}(\frac{h^2}{2}) + u_y \frac{\partial}{\partial y}(\frac{h^2}{2}) + h^2(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y})) \\
\Pi_{NSxx} &= \tau \frac{gh^2}{2} 2 \frac{\partial u_x}{\partial x} \\
\Pi_{NSxy} &= \Pi_{NSyx} = \tau \frac{gh^2}{2} (\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x}) \\
\Pi_{NSyy} &= \tau \frac{gh^2}{2} 2 \frac{\partial u_y}{\partial y}
\end{aligned} \tag{6}$$

При $\tau = 0$ система уравнений (4) - (6) переходит в систему уравнений мелкой воды (3). При проведении численных расчётов слагаемые с коэффициентом τ рассматриваются как регуляризующие добавки, обеспечивающие точность и устойчивость численного решения. Примеры применения указанного алгоритма к широкому кругу течений в приближении мелкой воды изложены, например, в [5,6,7,8].

2.2. Разностная аппроксимация регуляризованных уравнений мелкой воды

Для численного решения регуляризованных уравнений мелкой воды будем использовать явную по времени разностную схему с аппроксимацией всех пространственных производных центральными разностями [9]. Значения искомых переменных $h(x, y, t)$ и $u(x, y, t)$ отнесены к узлам пространственной сетки. Устойчивость численного алгоритма обеспечивается слагаемыми с коэффициентом τ , величина которого связывается с шагами пространственной сетки Δx и Δy и вычисляется в виде:

$$\tau = \frac{\Delta x + \Delta y}{2c}, \quad c = \sqrt{gh(x, y, t)} \tag{7}$$

где c - скорость распространения малых возмущений, рассчитанная в приближении модели мелкой воды, $0 < \alpha < 1$ численный коэффициент, выбираемый из условий точности и устойчивости счета. Шаг по времени выбирается в соответствии с условием Куранта, которое для данной задачи имеет вид:

$$\Delta \tau = \beta \frac{\Delta x + \Delta y}{2c_{\max}} \tag{8}$$

Здесь число Куранта $0 < \beta < 1$ зависит от величины параметра регуляризации τ в виде $\beta = \beta(\alpha)$ и подбирается в процессе вычислений для обеспечения монотонности численного решения. В расчётах использовались равномерные пространственные сетки.

Существенной особенностью задачи является существование подвижной границы между областью, занятой жидкостью, и зонами сухого дна, конфигурация которых меняется во времени. Последнее усложняет вычислительный процесс и делает его менее устойчивым. Численный алгоритм для расчёта движения зоны сухого дна для регуляризованных уравнений мелкой воды был предложен в [6] и имеет следующий вид: если в процессе расчёта оказывается, что $h(x, y) < \varepsilon$, то полагаем $u(x, y) = 0$ и $\tau = 0$. Величина параметра отсечения ε связывается с величиной наклона дна соотношением

$$\varepsilon(x, y) = \Delta x \left| \frac{db}{dx} \right|_{x,y} + \Delta y \left| \frac{db}{dy} \right|_{x,y} \tag{9}$$

Аппроксимация условия (9) для двумерных уравнений строится следующим образом:

$$\varepsilon_{i,j} = k \max \{ \Delta_{i,j}, \Delta_{i\pm 1,j}, \Delta_{i,j\pm 1}, \Delta_{i\pm 1,j\pm 1} \}$$

где $\Delta_{i,j} = |b_{i+1,j} - b_{i-1,j}| + |b_{i,j+1} - b_{i,j-1}|$.

Значение коэффициента $0 < k < 1$ и, соответственно, предельного уровня отсечки ε , подбирается в процессе вычислений из соображений разумной точности описания зон сухого дна.

2.3. Регуляризованные уравнения мелкой воды

Разностный алгоритм решения задачи включает в себя несколько настроечных параметров - это размер шагов по пространству Δx и Δy , шаг по времени Δt , который определяется числом Куранта β , параметр регуляризации α , и величины для расчёта движения границы области сухого дна - параметр отсечения ε или коэффициент k , связанный с наклоном дна. Все эти величины определяют точность и трудоёмкость численного решения.

Оптимальное значение пространственного шага обусловлено выбором между быстротой решения, его точностью и устойчивостью расчёта, поскольку уменьшение шага по пространству требует пропорционального уменьшения шага по времени.

Предварительная настройка параметров разностного алгоритма была выполнена при численном моделировании данной задачи в одномерном

приближении, когда решение рассчитывалось только в плоскости симметрии резервуара без учёта наклона дна [8]. Для двумерного расчёта потребовалась дополнительная калибровка полученных ранее значений с учётом наклона дна бака, то есть величин ε и k .

Зависимости давления жидкости на стенку бака в точке 5 (рис.4) при сгущении пространственной сетки приведён на рис. 7. Здесь $\alpha = 0.3$, $k = 0.5$. Графики показывают сходимость численного решения задачи при дроблении пространственной сетки. В качестве оптимального шага было выбрано значение $\Delta x = \Delta y = 0.2$ м.

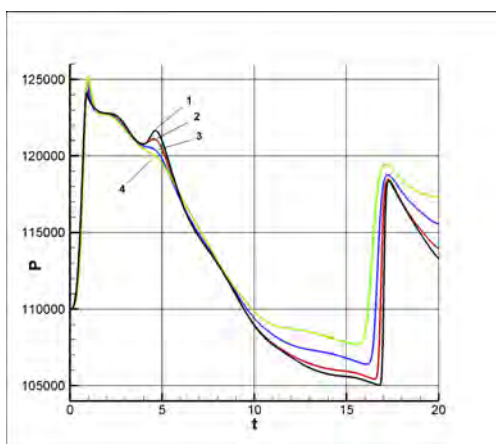


Рис. 7. Зависимость давления от времени для реперной точки 5 при изменении шага пространственной сетки Δ :

$$\Delta = 0.2(1), 0.3(2), 0.5(3), 0.7(4) \text{ для } \alpha = 0.3, k = 0.5$$

Для этого шага было исследовано поведение решения при различных значениях параметра регуляризации α : чем меньше параметр регуляризации, тем точнее решение. С другой стороны, при малом значении α в решении появляются нефизические осцилляции и в дальнейшем решение может терять устойчивость. На рисунке 8 хорошо видна сходимость решения в той же точке 5 при различных значениях коэффициента α . В результате проведённого анализа было выбрано минимальное из приемлемых решений - параметр $\alpha = 0.3$.

Дополнительная сложность задачи заключается в том, что в начальный момент времени из-за наклона нижней части стенок бака в 1/4 части расчётной области имеется зона сухого дна. При численном решении задачи этот факт вызывает сильные нефизические осцилляции решения в начальные моменты времени вблизи границы сухого дна. Для исключения этого численного эффекта в начальный момент времени удобно положить, что в указанных областях высота уровня жидкости имеет малое, но не нулевое значение $h(x, y) = \delta\varepsilon = 0.0001$ м. При дальнейшем

уменьшении $\delta\varepsilon$ погрешность решения практически не изменяется, в то время как устойчивость алгоритма, то есть шаг по времени, уменьшается. Для рассматриваемого течения оптимальное значение $k = 0.2$.

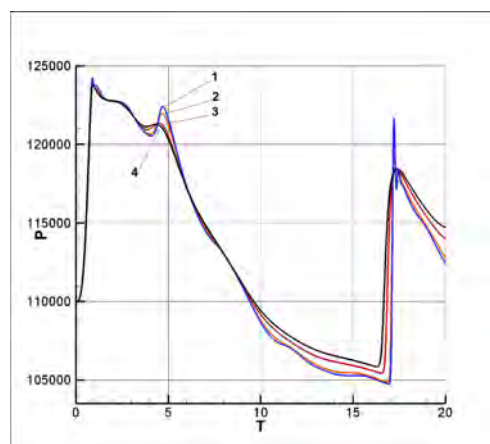


Рис. 8. Зависимость давления от времени для реперной точки 5 при изменении параметра α : $\alpha = 0.1(1), 0.2(2), 0.3(3), 0.5(4)$ для $\Delta = 0.2$, $k = 0.2$

Указанные параметры расчёта соответствуют числу Куранта $\beta = 0.01$. Выбор столь малого числа Куранта β , и, соответственно, малого шага по времени, обусловлен жёсткими разрывами, возникающими в задаче в начальные моменты времени. Для ускорения расчёта шаг по времени может быть сделан переменным, в зависимости h_{\max} , что позволяет существенно увеличить его на больших временах расчёта, когда начальные градиенты решения достаточно сгладились. Изучение свойств численного алгоритма для задачи колебания жидкости в резервуаре в одномерном приближении и подбор оптимальных параметров разностной схемы приведён в [8].

Таким образом оптимальными параметрами решения задачи является следующий набор величин:

- Равномерная пространственная сетка с шагами: $\Delta x = \Delta y = \Delta = 0.2$ м;
 - Параметр регуляризации: $\alpha = 0.3$;
 - Шаг по времени: $\Delta t = \beta \frac{\Delta}{\sqrt{gh_{\max}}} \approx 10^{-3}$ с,
- что соответствует числу Куранта $\beta = 0.01$;
- Параметры сухого дна: $\delta\varepsilon = 0.0001$ м, $k = 0.2$.

В этом случае вычислительная погрешность решения составляет 0.08 м.

Величина коэффициента трения составляет $\mu = 0.001$. Исключение силы трения $\mu = 0$ мало меняет результаты численного расчёта, что

свидетельствует о слабом влиянии силы трения в данной задаче.

3. Результаты численного моделирования

3.1. Столкновение по направлению оси судна

Предполагаем, что перед столкновением скорость судна направлена вдоль оси OX , то есть в плоскости симметрии вдоль продольной оси судна, и скорость судна перед соударением составляет 8 узлов.

Общая картина течения и его особенности отражены на рис. 9–12. На указанных рисунках приведены линии тока на последовательные моменты времени, цветом обозначены линии уровня жидкости $H(x, y) = h(x, y) + b(x, y)$. Рисунки показывают характерный заброс жидкости вверх по передней стенке бака и постепенное понижение этого максимума с течением времени. Виден также существенно двумерный характер течения вне плоскости симметрии, формирование и эволюция вихревых зон и линий растекания. Эти вихревые зоны образуются в результате жёсткого торможения судна, а также из-за наличия сложной геометрии стенок бака и не плоского профиля его дна. С течением времени амплитуда колебаний жидкости в баке уменьшается, колебания приобретают гармонический вид, который соответствует распространению гравитационных волн в жидкости [4]. С течением времени колебания полностью затухают [8]. Детальное исследование развития течения и его структуры было проанализировано на основе фильмов, построенных авторами по результатам расчётов.

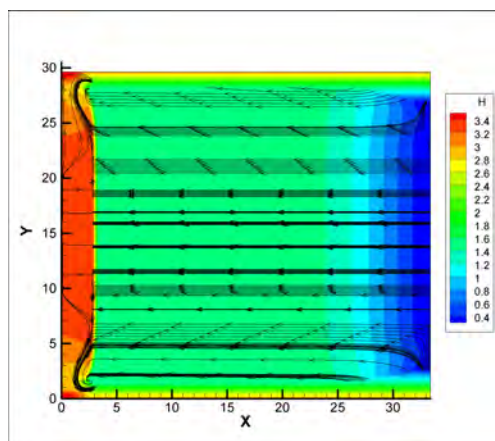


Рис. 9. Линии тока и изолинии уровня поверхности при столкновении вдоль оси OX , $t=1.5$ с

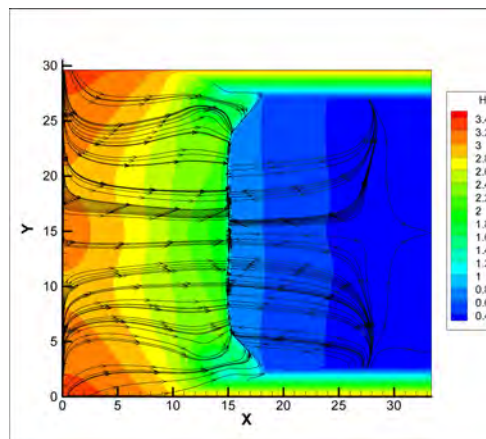


Рис. 10. Линии тока и изолинии уровня поверхности при столкновении вдоль оси OX , $t=5$ с

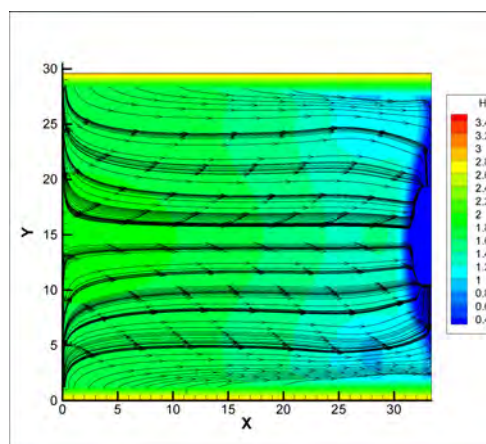


Рис. 11. Линии тока и изолинии уровня поверхности при столкновении вдоль оси OX , $t=8$ с

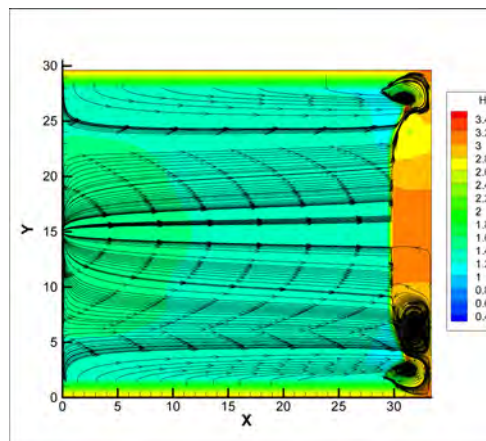


Рис. 12. Линии тока и изолинии уровня поверхности при столкновении вдоль оси OX , $t=10$ с

Схожая топология движения свободной поверхности жидкости для этого варианта течения была получена в рамках использования осреднённых уравнений Навье-Стокса, когда дополнительно учитывалась вихревая динамика фракций газа, образующихся над поверхностью жидкости. При этом обнаружено, что в газообразной среде над поверхностью происходит активное формирование вихревых структур, которые образуются

не только вблизи поверхности раздела фаз, но и во всем объеме танка, заполненного газом.

Графики для величин нагрузок на стенки танка для характерных реперных точек, расположенных в плоскости симметрии, приведены на рис. 13 для двумерных уравнений мелкой воды, на рис. 14 для трёхмерных осреднённых уравнений Навье-Стокса [3] и на рис. 15 для решения этой задачи в плоскости симметрии на основе одномерных уравнений мелкой воды [8]. Из графиков видно, что решения, рассчитанные в трёх указанных постановках, в плоскости симметрии (точки 5 и 15) очень близко совпадают между собой не только по значению максимального пика давления, но и по времени его появления, а также по времени появления второго и третьего пиков, и их высоты. Сравнение решения задач в рамках двумерных уравнений мелкой воды и трёхмерных уравнений Навье-Стокса вне плоскости симметрии (точки 4 и 14) также показывает, что полученные течения практически идентичны. Исключение составляет небольшие отличия поведения решения на границе в реперных точках 3 и 7 (рис. 6), где расположена граница жидкости с областью сухого дна (здесь не приведены). Замеченные различия согласуются с общей картиной движения топлива, и тем самым не представляют особого практического интереса, так как в этих зонах не наблюдаются существенные нагрузки на стенки.

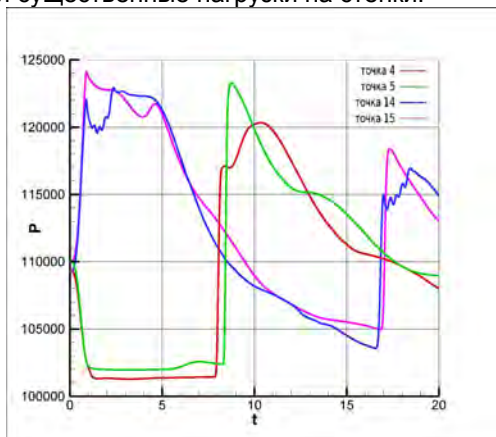


Рис. 13. Эволюция давления. Двумерные уравнения мелкой воды

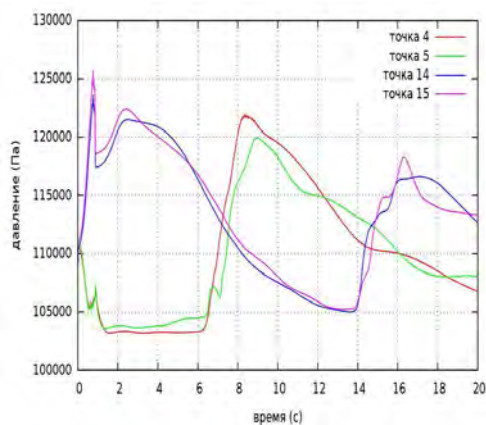


Рис. 14. Эволюция давления. Трёхмерные уравнения Навье-Стокса

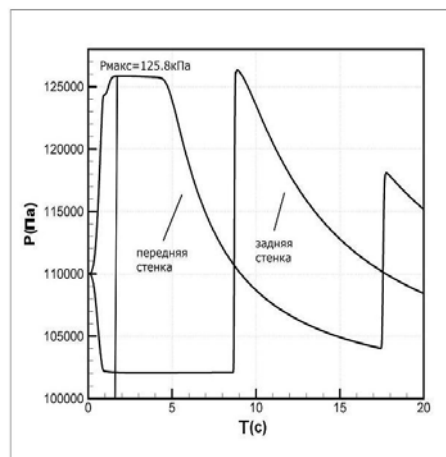


Рис. 15. Эволюция давления. Одномерные уравнения мелкой воды, расчёт в плоскости симметрии

Далее в таблице 1 приведены максимальные значения давлений на стенку бака, полученные с помощью трёх указанных подходов для трёх значений начальной скорости судна:

Таблица 1

Максимальные (пиковые) значения давления в контрольных точках

	8 узлов	6 узлов	4 узла
3D Н	125 кПа	121 кПа	117 кПа
1D РУМВ	125.8 кПа	121.5 кПа	116.6 кПа
2D РУМВ	124.2 кПа	120 кПа	116.2 кПа

Таблица показывает, что все полученные значения пиковых нагрузок на стенки бака оказываются весьма близкими.

Таким образом, мы получили подтверждения адекватности решения задачи о колебаниях топлива на основе решения полных уравнений Навье-Стокса и в рамках приближения мелкой воды. Хорошее соответствие данных, полученных в рамках разных математических моделей и различной алгоритмической реализации для трёх значений начальной скорости судна, подтверждает правильность результатов математического моделирования поставленной задачи.

3.2. Столкновение под углом к оси судна

Важным практическим случаем столкновений является вариант столкновения с льдиной, происходящее под небольшим углом к продольной оси судна. Такой вид остановки судна является частным случаем двойного столкновения с ледовым препятствием, при котором корабль, ударяясь об одну льдину, затем сталкивается уже под некоторым ненулевым углом с другим препятствием. Здесь мы не будем рассматривать конкретный случай двойного столкновения, а рассмотрим его модельный вариант, для чего направим скорость $V(t)$ под некоторым углом к оси судна ОХ, что приводит к появлению отличной от

нуля компоненты силы инерции f_y . Далее приведён расчёт для столкновения под углом 20 градусов.

Данное течение является существенно двумерным и несимметричным. Линии тока этого течения на те же последовательные моменты времени, как и в варианте с нулевым углом столкновения, приведены на рис. 16 - 19. Цветом обозначены линии уровня жидкости $H(x, y) = h(x, y) + b(x, y)$. Наличие ненулевой компоненты силы инерции f_y приводит к кардинальной перестройке течения и перераспределению нагрузок на стенки бака по сравнению со случаем симметричного течения.

При этом наблюдаются колебания жидкости, которые являются результатом нелинейного взаимодействия колебаний вдоль осей OX и OY . В частности, максимальные значения уровня в начальные моменты времени сосредоточены только в левой нижней части плоскости XY , а наибольшие значения достигаются в точке 4. Интересен и другой факт - так как размеры резервуара по осям x и y близки, $L_x \approx L_y$, то следующий максимум уровня жидкости возникает на противоположной стенке бака в точке 16. Это наглядным образом видно на рис. 16 и 19. Между этими двумя пиками уровня жидкости движение представляет собой два поперечных колебания, которые сосуществуют практически независимо друг от друга (рис. 17 и 18). Графики нагрузок на стенки бака в этих точках, а также для сравнения в точке 5 приведены на рис. 20. Отметим, что по сравнению с вариантом симметричного течения, здесь образуется более высокое максимальное давление на стенку - 127.5 кПа. Детальное исследование развития этого сложного течения и его структуры было изучено с использованием фильмов, построенных по результатам расчётов.

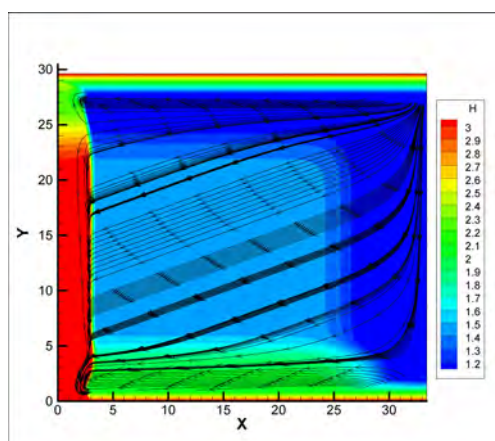


Рис. 16. Линии тока и изолинии уровня поверхности при столкновении под углом к оси OX , $t=1.5$ с

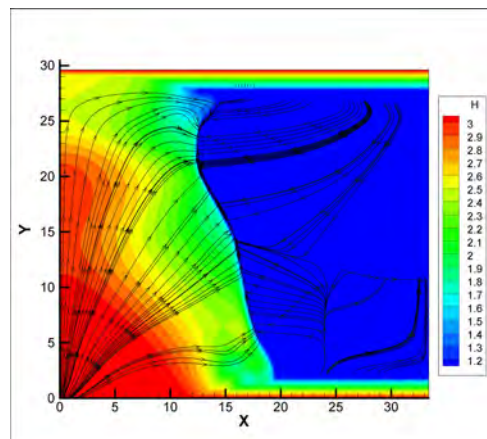


Рис. 17. Линии тока и изолинии уровня поверхности при столкновении под углом к оси OX , $t=5$ с

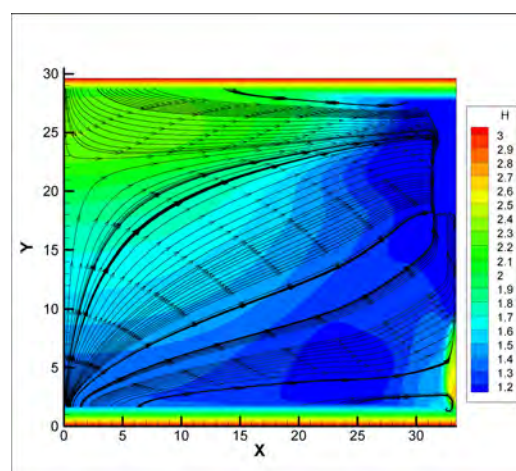


Рис. 18. Линии тока и изолинии уровня поверхности при столкновении под углом к оси OX , $t=8$ с

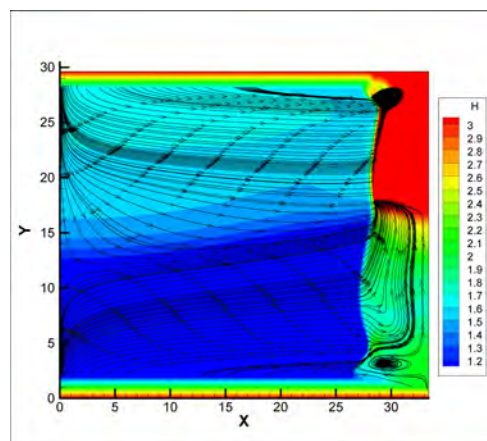


Рис. 19. Линии тока и изолинии уровня поверхности при столкновении под углом к оси OX , $t=10$ с

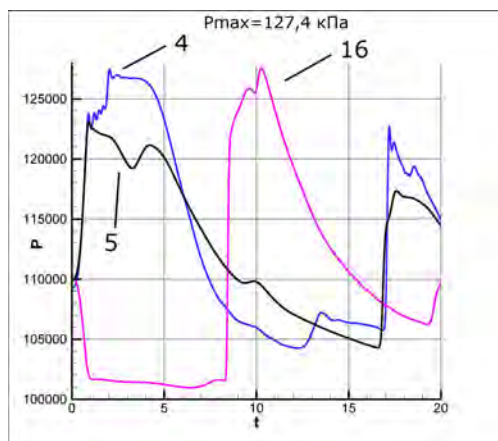


Рис. 20. Зависимость давления сжиженного газа на стенку при столкновении под углом. Реперные точки 4, 5, 16

Заключение

В настоящей работе были выполнены расчеты колебаний сжиженного газа в танке газове́за. Использовались две математических модели: на основе уравнений Навье-Стокса и регуляризованных уравнениях мелкой воды. Результаты расчетов показали, что оба подхода дают схожую картину колебательных процессов как по топологии течения, так и по нагрузкам на стенки танков.

Литература

1. Гурьев Ю.В., Ткаченко И.В., Якушенко Е.И. Компьютерные технологии в корабельной гидродинамике: состояние и перспективы // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*, Сб. научн. трудов. Т 4, № 3, 2011, с. 8-21.
2. Сафрай А.С., Ткаченко И.В. Численное моделирование гравитационных течений жидкости в наклонных каналах // *Изв. РАН, Механика жидкости и газа*. 2009. № 1. № 3, с. 8-21.
3. Дукарский А.О., Кисилев Д.Б., Ткаченко И.В., Тряскин В.Н., Тряскин Н.В., Якимов В.В. Математическое моделирование колебаний жидкости в грузовых емкостях газове́зов при соударении с ледовым препятствием // *Морские интеллектуальные технологии*. 2011. № 4. с. 69-75.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Гидродинамика*. Наука, М., 1986.
5. Булатов О.В., Елизарова Т.Г. Регуляризованные уравнения мелкой воды и эффективный метод численного моделирования течений в неглубоких водоемах // *Ж. вычисл. матем. и матем. физ.*, 2011, т.51, № 1, с.170–184.
6. Елизарова Т.Г., Истомина М.А., Шелковников Н.К. Численное моделирование формирования уединенной волны в кольцевом аэрогидроканале. *Математическое моделирование*, 2012, том 24, № 4, с.107-116.
7. Елизарова Т.Г., Сабурин Д.А. Численное моделирование колебаний жидкости в топливных баках. *Математическое моделирование*, 2013, том 25, № 3, с.75-88.
8. Елизарова Т.Г. *Квазигазодинамические уравнения и методы расчета вязких течений*. Москва, Научный мир, 2007 -- 351 с.

References

1. Gur'ev Yu.V., Tkachenko I.V., Yakushenko E.I. Komp'yuternye tekhnologii v korabel'noy gidrodinamike: sostoyaniye i perspektivy // *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika*,. Sb. nauchn. trudov. T 4, № 3, 2011, s. 8-21.
2. Safray A.S., Tkachenko I.V. Chislennoe modelirovaniye gravitatsionnykh techeniy zhidkosti v naklonnykh kanalakh. *Izv. RAN, Mekhanika zhidkosti i gaza*. 2009. № 1. № 3, s. 8–21.
3. Dukarskiy A.O., Kisilev D.B., Tkachenko I.V., Tryaskin V.N., Tryaskin N.V., Yakimov V.V. Matematicheskoye modelirovaniye kolebaniy zhidkosti v gruzovykh emkostyakh gazovozov pri soudarenii s ledovym prepyatstviem. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. 2011. № 4. s. 69–75.
4. Landau L.D., Lifshits E.M. *Gidrodinamika*. Nauka, M., 1986.
5. Bulatov O.V., Elizarova T.G. Regulyazirovannyye uravneniya melkoy vody i effektivnyy metod chislennogo modelirovaniya techeniy v neglubokikh vodoemakh. *Zh. vychisl. matem. i matem. fiz.*, 2011, t.51, № 1, s.170–184.
6. Elizarova T.G., Istomina M.A., Shelkovnikov N.K. Chislennoye modelirovaniye formirovaniya uedinennoy volny v kol'tsevom aerogidrokanale. *Matematicheskoye modelirovaniye*, 2012, tom 24, № 4, s.107–116.
7. Elizarova T.G., Saburin D.A. Chislennoye modelirovaniye kolebaniy zhidkosti v toplivnykh bakakh. *Matematicheskoye modelirovaniye*, 2013, tom 25, № 3, s.75–88.
8. Elizarova T.G. *Kvazigazodinamicheskiye uravneniya i metody rascheta vyazkikh techeniy*. Moskva, Nauchnyy mir, 2007. 351 s.

УДК 629.12.035

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАВИТАЦИОННОГО ОБТЕКАНИЯ КРЫЛА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

Никущенко Дмитрий Владимирович, доктор технических наук,
профессор кафедры теории корабля
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: ndmitry@list.ru

Мялкин Роман Александрович, инженер, аспирант кафедры теории корабля
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: roman.myalkin@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Главной целью данного исследования является определение возможности использования методов вычислительной гидродинамики для исследования кавитационного обтекания крыла.

Для проведения исследования был использован расчетный комплекс FINE/Marine NUMECA SOFTWARE™. Для моделирования течения были использованы модели турбулентности K- ω SST и EASM. Для моделирования кавитации используются модели Merkle и Sauer.

Моделирование кавитации выполнено для профиля крыла NACA-4412 с длиной хорды 0.076 метра. Скорость течения задавалась равной 3.46 м/с. Для моделирования кавитации был задан ряд чисел кавитации от 0.6 до 2.5.

Результаты численного исследования были сопоставлены с результатами, приведенными в статье Р. Кёрмина (Robert W. Kermeen) Water Tunnel Tests of NACA 4412 and Walchner profile 7 hydrofoils in noncavitating and cavitating flows.

Ключевые слова: кавитация, численное моделирование кавитации, кавитационное обтекание крыла.

NUMERICAL SIMULATION OF THE CAVITATION FLOW AROUND THE WING WITH THE USE OF COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS METHODS

Nikushchenko Dmitry Vladimirovich, Dr.Sci.Tech.,
the professor of DEPARTMENT OF SHIP THEORY
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia
E-mail: ndmitry@list.ru

Mialkin Roman Aleksandrovich, Post graduate of DEPARTMENT OF SHIP THEORY
State Marine Technical University of Sankt-Petersburg
Sankt-Petersburg, Russia
E-mail: roman.myalkin@mail.ru

ABSTRACTS

The main purpose of this investigation is to determine opportunity to use methods CFD to investigate cavitation flow around the wing.

In this paper, there was carried out investigation of cavitation flow around wing NACA-4412, based on CFD methods. To carry out the investigation were used models of turbulence K- ω SST and EASM. To simulate cavitation flow were used cavitation models Merkle and Sauer.

The simulation of cavitation was carried out to wing NACA-4412 (Pic. 1) at angle of attack of 8 degrees. The speed of flow set equal 3.46 m/s. To simulation of cavitation flow was set series of cavitation numbers from 0.6 to 2.5.

The results of investigation were compared with experimental values reported in article Robert W. Kermeen «Water Tunnel Tests of NACA 4412 and Walchner profile 7 hydrofoils in noncavitating and cavitating flows».

Key words: cavitation, numerical simulation of cavitation, cavitation flow around the wing.

Введение

В последнее время наблюдается значительное увеличение скоростей движения различных водных объектов. Поэтому в определенный момент времени наступает так называемый кавитационный барьер. Для предотвращения, или наоборот, для достижения определенного уровня кавитации проводят различные исследования кавитационных течений.

Исследование кавитации является довольно сложной задачей, так как образование и схлопывание каверн очень быстрый и нестационарный процесс. Основным методом исследования кавитации является проведение эксперимента в кавитационной трубе. В нашей стране исследованием кавитации занимались М.И. Гуревич, А.Д. Перник, В.В. Рождественский, А.Ш. Ачкинадзе и др., а за рубежом - Р. Кнэпп, Р. Кёрмин, М. Корнфельд, Г. Биркгоф. Впервые с кавитацией в судостроении столкнулись в 1894 г., когда на испытаниях английского миноносца «Дэринг» невозможно было достичь максимальной скорости, потому что гребной винт на полном ходу резко изменял свои характеристики. Термин «кавитация» был введен В. Фрудом.

Последнее время все больше и больше внимание уделяется исследованию различных течений с помощью методов вычислительной гидродинамики (CFD). Это связано с увеличением мощностей вычислительной техники, а также из-за уменьшения затрат на проведение экспериментов. Таким образом производители программного обеспечения CFD представляют все больше моделей для исследований различных течений.

1. Моделирование кавитации

В мульти-фазном пространстве, принимая в рассмотрение вязкую несжимаемую жидкость в изотермическом состоянии, законы сохранения массы, момента и объемной доли могут быть записаны в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV + \int_S \rho(\vec{U} - \vec{U}_d) \vec{n} dS &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \vec{U}_i dV + \int_S \rho U_i (\vec{U} - \vec{U}_d) \vec{n} dS &= \\ = \int_S (\tau_{ij} I_j - p_i I_i) \vec{n} dS + \int_V \rho g_i dV & \\ \frac{\partial}{\partial t} \int_V C_i dV + \int_S C_i (\vec{U} - \vec{U}_d) \vec{n} dS &= 0 \end{aligned}$$

где V – расчетная область, ограниченная замкнутой площадью S.

n – нормаль к площади S.

\vec{U}_d – скорость движения площади S.

\vec{U} – поле скоростей.

p – поле давления.

τ_{ij} – тензор касательных напряжений.

g – вектор гравитационных сил.

I_j – вектор, компоненты которого стремятся к нулю, исключая компоненту j, которая стремится к единице.

C_i – i-ая объемная доля смеси i, которую используют для определения наличия ($C_i=1$) или отсутствия ($C_i=0$) i-й фазы.

Если C_i находится между 0 и 1, то это означает наличие смеси жидкостей. Значение $C_i=0,5$ определяет границу раздела между фазами.

Физические параметры жидкости, такие как плотность и вязкость, запишем в виде:

$$\begin{aligned} \rho &= \sum_i C_i \cdot \rho_i; \\ \mu &= \sum_i C_i \cdot \mu_i; \quad 1 = \sum_i C_i; \end{aligned}$$

где ρ и μ – плотность и вязкость смеси соответственно, а ρ_i и μ_i – плотность и вязкость i-й фазы смеси.

В расчетном комплексе FINE/Marine численное моделирование кавитации основывается на разрешении уравнения переноса также, как это делается для свободной поверхности. Но, в данном случае, существует источник испарения и конденсации фазы жидкость-пар.

Будем считать, что объемная доля (C_i) разрешает изменение свободной поверхности. Будем полагать, что $\alpha_a = (1 - C_i)$ определяет объемную долю воздуха.

Переменная C_{iCav} будет определять либо объемную долю пара, либо жидкости.

Существует отношение:

$$\alpha_a + \alpha_v + \alpha_l = 1 \tag{1.1}$$

где α_a, α_v и α_l – соответственно объемная доля воздуха, пара и жидкости.

Для вычисления физических свойств смеси, будем использовать соотношение:

$$\rho = \rho_a \alpha_a + \rho_v \alpha_v + \rho_l \alpha_l \tag{1.2}$$

Запишем закон сохранения массы ρ – плотность, \vec{U} – поле скоростей):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{U}) &= \rho_a \left(\frac{\partial \alpha_a}{\partial t} + \text{div}(\alpha_a \vec{U}) \right) + \\ + \rho_v \left(\frac{\partial \alpha_v}{\partial t} + \text{div}(\alpha_v \vec{U}) \right) &+ \rho_l \left(\frac{\partial \alpha_l}{\partial t} + \text{div}(\alpha_l \vec{U}) \right) \end{aligned} \tag{1.3}$$

Задание объемной доли пара с помощью C_{iCav} :

Пусть C_{iCav} будет равняться α_v .

Тогда выражение $C_i = \alpha_i + CiCav$ будет определять объемные доли жидкости и пара.

Используя выражение (2.3) запишем:

$$\rho_a \operatorname{div}(\vec{U}) = (\rho_a - \rho_l) \left(\frac{\partial C_i}{\partial t} + \operatorname{div}(C_i \vec{U}) \right) + (\rho_l - \rho_a) \left(\frac{\partial CiCav}{\partial t} + \operatorname{div}(CiCav \vec{U}) \right) \quad (1.4)$$

Запишем закон сохранения массы для фазы воздуха:

$$\frac{\partial Ca}{\partial t} + \operatorname{div}(Ca \vec{U}) = 0 \quad (1.5)$$

Учитывая, что $\alpha_a = 1 - C_i$, получим:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = - \frac{\partial C_i}{\partial t} \quad (1.6)$$

Далее выводим уравнение:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \operatorname{div}(C_i \vec{U}) = \operatorname{div}(\vec{U}) \quad (1.7)$$

Моделирование кавитации основывается на следующем выражении:

$$\frac{\partial CiCav}{\partial t} + \operatorname{div}(CiCav \vec{U}) = \dot{m}_v \quad (1.8)$$

Определяем:

$$\operatorname{div}(\vec{U}) = \left(1 - \frac{\rho_v}{\rho_l}\right) \dot{m}_v \quad (1.9)$$

Задание объемной доли жидкости с помощью C_iCav :

$$\alpha_v = (1 - CiCav) - \text{объемная доля пара.}$$

Тогда объемная доля жидкости равна:

$$\alpha_l = C_i + CiCav - 1 \quad (1.10)$$

Используя выражения, которые записаны в предыдущем параграфе, получаем:

$$\operatorname{div}(\vec{U}) = - \left(\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v} \right) \dot{m}_l = \left(\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_l} \right) \dot{m}_v \quad (1.11)$$

1.1. Модели кавитации

В расчетном комплексе FINE/Marine представлено три модели кавитации (Merkle, Sauer, Kunz). Модель кавитации Kunz не использовалась в данном исследовании.

Все модели основываются на модели переноса П между фазами жидкости и пара.

Для фазы жидкости:

$$\frac{\partial \alpha_l}{\partial t} + \operatorname{div}(\alpha_l \vec{U}) = \frac{\Pi}{\rho_l} = \dot{m}_l \quad (1.12)$$

Аналогичным образом запишем выражение для фазы пара:

$$\frac{\partial \alpha_v}{\partial t} + \operatorname{div}(\alpha_v \vec{U}) = - \frac{\Pi}{\rho_v} = \dot{m}_v \quad (1.13)$$

Получаем:

$$\dot{m}_v = - \frac{\rho_l}{\rho_v} \dot{m}_l \quad (1.14)$$

Модели кавитации определяют соотношение между двумя параметрами \dot{m}_v и \dot{m}_l .

1.1.1. Модель кавитации Merkle

Закон сохранения массы для жидкой фазы:

$$\frac{\partial \alpha_l}{\partial t} + \operatorname{div}(\alpha_l \vec{U}) = \dot{m}_l = \frac{C_{dest}^{liq} \cdot \operatorname{Min}(P - P_v, 0) \alpha_l}{0.5 \rho_l U_\infty^2 T_\infty} - \frac{C_{prod}^{liq} \cdot \operatorname{Min}(P - P_v, 0) (1 - \alpha_l)}{\rho_l (0.5 \rho_l U_\infty^2) T_\infty}$$

Закон сохранения массы для паровой фазы:

$$\frac{\partial \alpha_v}{\partial t} + \operatorname{div}(\alpha_v \vec{U}) = \dot{m}_v = \frac{C_{dest}^{liq} \cdot \operatorname{Min}(P - P_v, 0) (1 - \alpha_v)}{\rho_v (0.5 \rho_v U_\infty^2) T_\infty} - \frac{C_{prod}^{liq} \cdot \operatorname{Min}(P - P_v, 0) \alpha_v}{0.5 \rho_v U_\infty^2 T_\infty}$$

где P – гидростатическое давление

P_v – давление насыщенных паров

U_∞^2 – скорость в потоке жидкости

T_∞ – время

C_{dest}^{liq} – коэффициент характеризующий разрыв жидкой фазы

C_{prod}^{liq} – коэффициент характеризующий конденсацию жидкой фазы.

1.1.3. Модель кавитации Sauer

Третья модель основывается на упрощенной форме уравнения Рейля-Плессета.

Закон сохранения массы для жидкой фазы:

$$\frac{\partial \alpha_l}{\partial t} + \operatorname{div}(\alpha_l \vec{U}) = \dot{m}_l = \operatorname{sign}(P - P_v) \sqrt{\frac{2|P - P_v|}{3\rho_l}} \cdot \frac{\rho_v}{\rho_l} \alpha_l (1 - \alpha_l) \frac{3}{R_B}$$

$$\text{Где } R_B = \left(\frac{1 - \alpha_l}{\alpha_l} \frac{3}{3\rho_0} \right)^{1/3}$$

Закон сохранения массы для паровой фазы:

$$\frac{\partial \alpha_v}{\partial t} + \text{div}(\alpha_v \vec{U}) = \dot{m}_v = -\text{sign}(P - P_v) \sqrt{\frac{2|P - P_v|}{3\rho_l}}$$

$$\cdot \frac{\rho_l}{\rho_v} \alpha_v (1 - \alpha_v) \frac{3}{R_B}$$

$$\text{Где } R_B = \left(\frac{\alpha_v}{1 - \alpha_v} \frac{3}{3\rho_0} \right)^{1/3}$$

Главным отличием данной модели кавитации от предыдущих является то, что разность давлений $P - P_v$ находится под квадратным корнем. Такая запись характеризует нелинейность функций \dot{m}_l и \dot{m}_v .

2. Моделирование обтекания крыла

2.1. Постановка задачи

Произвести моделирование кавитационного обтекания крыла профиля NACA-4412 при следующих исходных данных:

- $l=0.076$ м - хорда крыла
- $b=0.01$ м – толщина крыла
- $\rho=1000$ кг/м³ – плотность жидкости
- $\mu=1,05 \cdot 10^{-6}$ м²/с²
- $v=3.46$ м/с – скорость потока жидкости
- $\alpha=8^\circ$ – угол атаки крыла

Число кавитации K принимало следующие значения: 0,064; 0,2; 0,6; 1; 1,87; 2,5; 10.

2.2. Исследование влияния количества расчетных ячеек сеточной модели на интегральные характеристики

В данной работе было построено три сеточные модели:

Сетка1 = 18957 ячеек, Сетка2 = 37070 ячеек, Сетка3 = 73320 ячеек.

Исследование производилось на модели турбулентности $k-\omega$ SST и модели кавитации Merkle(число кавитации 0,6).

Изменение интегральных характеристик модели в зависимости от количества расчетных ячеек модели заканчивается, когда количество расчетных элементов больше 35000 ячеек.

Для дальнейших расчетов будет использоваться сетка 37070 расчетных ячеек.

2.3. Исследование влияния модели турбулентности

В данной работе использовались две модели турбулентности: $k-\omega$ SST, EASM.

Сравнение моделей турбулентности приведены в таблице 1.

Для дальнейших расчетов будет использоваться модель турбулентности $k-\omega$ SST.

Для исследования кавитационного обтекания профиля крыла NACA-4412 в данной работе используются две модели кавитации (Merkle, Sauer).

Таблица 1

Исследование влияния моделей турбулентности

Модель турбулентности	$k-\omega$ SST	EASM
F_x, N	51,8	55
F_y, N	270	241
C_x	0,114	0,121
C_y	0,594	0,53

2.4. Исследование кавитационного обтекания крыла

Моделирование производится для следующих чисел кавитации K : 0,6; 1,0; 1,87; 2,5; 10. Результаты моделирования с помощью модели кавитации Merkle и Sauer приведены в таблице 2. Зависимость коэффициентов сопротивления и подъемной силы в зависимости от числа кавитации представлены на рис. 1 и 2.

Таблица 2

Результаты исследования кавитации

K	10	2,5	1,87	1	0,6
C_x	0,030	0,030	0,040	0,110	0,114
C_y	1,218	1,218	1,209	0,956	0,594
C_x	0,030	0,030	0,040	0,110	0,114
C_y	1,218	1,218	1,209	0,956	0,594



Рис. 1. Коэффициент сопротивления в зависимости от числа кавитации

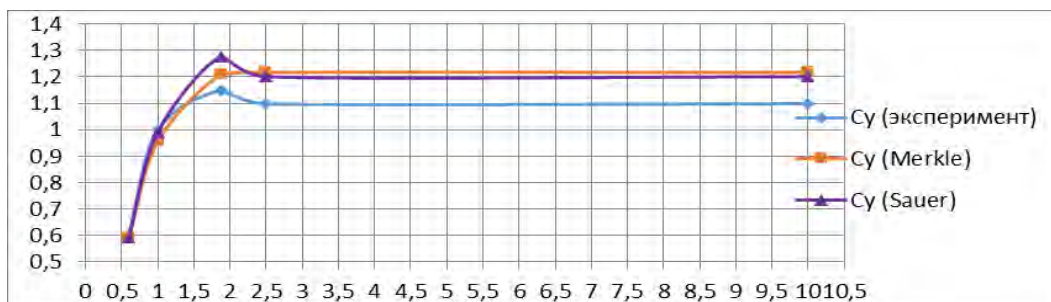


Рис. 2. Коэффициент подъемной силы в зависимости от числа кавитации

Заключение

В данной работе были проведено моделирование кавитационного обтекания профиля крыла NACA-4412. При исследовании сеточной независимости было выявлено, что для двумерной задачи обтекания крыла достаточно 37000 расчетных ячеек. Результаты численного моделирования были сопоставлены с экспери-

ментальными данными. Анализ полученных результатов показал, что можно производить достаточно точный учет кавитации при численном моделировании, используя модели кавитации Merkle и Sauer. В то же время полученные результаты показали, что модель кавитации Sauer дает качественно более точный результат.

Литература

1. Kermeen R. Water tunnel tests of NACA 4412 and Walchner profile 7 in noncavitating and cavitating flows. Report No. 47-5, Hydrodynamics Laboratory California Institute of Technology Pasadena, California. 1956.
2. R. Knapp, J. Hammit Cavitation. New York: Mc Graw Hill book Company, 578p, 1970.
3. Gurevich M.I. Theory of jets of ideal fluid. Nauka, Moscow, 536p., 1978 (in Russian).

References

1. Kermeen R. Water tunnel tests of NACA 4412 and Walchner profile 7 in noncavitating and cavitating flows. Report No. 47-5, Hydrodynamics Laboratory California Institute of Technology Pasadena, California. 1956.
2. R. Knapp, J. Hammit Cavitation. New York: Mc Graw Hill book Company, 578p, 1970.
3. Gurevich M.I. Theory of jets of ideal fluid. Nauka, Moscow, 536p., 1978 (in Russian).



Научный журнал МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

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

e-mail: mit-journal@mail.ru

www.morintex.ru

Информация для авторов научного журнала "МОРские ИНтеллектуальные ТЕХнологии"

Для публикации статьи необходимо представление перечисленных ниже документов.

1. Сопроводительное письмо авторов
2. Электронная версия статьи, подготовленная в соответствии с требованиями к оформлению статей – инструкция прилагается ниже
3. Отдельный файл (для публикации в журнале и отправки в систему Российского индекса научного цитирования) – инструкция прилагается ниже
4. Акт экспертизы на открытую публикацию (при необходимости)

Перечисленные документы (кроме акта экспертизы) могут быть переданы в редакцию по электронной почте по адресу mit-journal@mail.ru (по этому же адресу осуществляется текущая переписка с редакцией).

По желанию авторов, документ 1 в бумажной версии и компакт-диск с документами 2 и 3 могут быть либо присланы по почте в адрес редакции, либо доставлены непосредственно в редакцию, либо переданы одному из членов редколлегии. Оригинал акта экспертизы должен быть либо прислан по почте в адрес редакции, либо доставлен непосредственно в редакцию, либо переданы одному из членов редколлегии.

На страницах журнала публикуются новые научные разработки, новые результаты исследований, новые методы, методики и технологии в области кораблестроения, информатики, вычислительной техники и управления. Это является основным требованием к статьям.

Каждая статья, принятая редколлегией для рассмотрения, проходит также внутреннюю процедуру рецензирования. По результатам рецензирования статья может быть либо отклонена, либо отослана автору на доработку, либо принята к публикации. Рецензентом может быть специалист по профилю статьи с ученой степенью не ниже кандидата наук.

Редколлегия не вступает с авторами в обсуждение соответствия их статей тематике журнала. **Журнал публикуется в цветном варианте.**

Плата с аспиранта в случае, если он является единственным автором, за публикацию статьи не взимается.

Стоимость публикации 6500 рублей по выставяемому по запросу счету.

Авторы несут ответственность за содержание статьи и за сам факт ее публикации. Редакция журнала не несет ответственности за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи. Если публикация статьи повлекла нарушение чьих-либо прав или общепринятых норм научной этики, то редакция журнала вправе изъять опубликованную статью.

Главный редактор научного журнала
"МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"
д.т.н. проф. Никитин Н.В.

УДК 629.12.001.2

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ для научного журнала "МОРские ИНтеллектуальные ТЕХнологии"

Николай Васильевич Никитин

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования судов
Санкт-Петербургского государственного морского технического университета
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3
тел. (812) 513-04-51 e-mail: morintex_spb@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В работе предлагаются правила оформления статей для научного журнала «Морские интеллектуальные технологии» в текстовом процессоре MS Word 97-2003 по требованиям для публикации в научном журнале ВАК, а также международных реферативных баз данных Scopus и Web of Science. Инструкция представляет собой специальную заготовку, которая служит базисом для создания конкретной статьи.

Аннотация предоставляется авторами в расширенном виде. Объем: не менее 950 и не более 1800 знаков (с пробелами), то есть 100-250 слов. В аннотации должны быть четко определены цель работы, ее новизна, представлены основные выводы. Языки – русский и английский.

Типичная структура аннотации: состояние вопроса; материалы и/или методы исследования, результаты; заключение.

Методы в аннотации только называются. Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и выводам, которые, по мнению автора статьи, имеют практическое значение. Следует указать пределы точности и надёжности данных, а также степень их обоснования. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, описанными в статье.

Ключевые слова: Список ключевых слов должен характеризовать предметную область исследования. Недопустимо использование терминов общего характера (например, проблема, решение), не являющихся специфической характеристикой публикации. Количество ключевых слов должно быть 8–10.

GUIDELINES FOR PREPARATION OF ARTICLES FOR THE ACADEMIC PERIODICAL «MARINE INTELLIGENCE TECHNOLOGIES»

Nikitin Nikolay Vasilevich

the professor, Dr.Sci.Tech., the professor of DEPARTMENT OF SHIP DESIGN,
STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation
tel: +7 (812) 513-04-51 e-mail: morintex_spb@mail.ru

ABSTRACT

The paper suggests rules for formatting articles to be submitted for the "Maritime Smart Technologies" academic periodical in the MS Word Processor 97-2003 according to the requirements set out for publication in an academic periodical of the State Commission for Academic Degrees and Titles as well as in the international Scopus and Web of Science bibliographic databases. The guidelines represent a special template which serves as a basis for creation of a certain article.

The authors should submit an extended abstract. The abstract should contain minimum 950 and maximum 1800 characters (including spaces), i. e. 100–250 words. The abstract must cover the objective and novelty of the paper and reflect the main conclusions. The languages of the abstract should be Russian and English.

The standard structure of an abstract is as follows: the state-of-the-art summary; data for study and/or research techniques; findings; conclusion.

The techniques should only be mentioned in the abstract. The findings should be described as accurately and informatively as possible. The major theoretical and experimental results, actual data, discovered interrelations and common factors should be reflected. Still new results and conclusions which, from the author's point of view, are of practical importance are put above. The data accuracy and reliability limits as well as the degree of their verification should be indicated. The conclusions can be accompanied by recommendations, estimations, suggestions described in the article.

Key words: The list of key words must be specific for the subject field of the investigation. General terms (e. g. problem, solution) which are not specific for this publication are inadmissible. The key words should amount to 8–10.

Введение

При подготовке статей у авторов нередко возникают трудности, связанные с необходимостью жестко выдерживать требуемые форматы подготовки текстов.

Вместе с тем, в современных текстовых процессорах существуют развитые средства поддержки общезначимых и специализированных шаблонов, автоматизирующих эту деятельность. Учитывая вышесказанное, автор данной инструкции подготовил специализированный шаблон создания *camera ready* текстов статей, представляемых в редакцию.

Данная инструкция не обычный текст, а заготовка, которую авторы работ, представляемых в журнал, должны редактировать для получения качественных текстов статей.

Обращаясь к авторам, редакция журнала доводит до их сведения требования к оформлению статей. Суть их сводится к тому, что, с одной стороны, предоставленная авторами информация должна быть интересной и понятной международному научному сообществу без обращения к полному тексту статьи. а с другой – должны быть обеспечены возможности контекстного поиска и аналитической обработки данных.

Фамилии авторов должны быть транслитерированы, или указаны так же, как в ранее опубликованных в зарубежных журналах статьях. Должны быть представлены адресные сведения о месте работы авторов, должность, ученая степень и ученое звание.

Название организации переводится на английский язык без составных частей названий организаций, обозначающих принадлежность ведомству, форму собственности, статус организации с указанием полного юридического адреса в следующей последовательности: улица, дом, город, индекс, страна. Наиболее полный список названий учреждений и их официальной англоязычной версии можно найти на сайте НЭБ eLibrary.ru. Название статьи, ключевые слова и аннотация также переводятся на английский язык. Все переводы должны быть высококачественными.

Название статьи должно быть информативным, можно использовать только общепринятые в международном научном общении сокращения. В переводе названия недопустимы транслитерации с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также непереводаемый сленг,

известный только русскоговорящим специалистам. Англоязычное название должно быть грамотно с точки зрения английского языка, при этом по смыслу полностью соответствовать русскоязычному названию.

Обращаем внимание авторов на необходимость обеспечить высокое профессиональное качество перевода на английский язык. Автоматизированный перевод с помощью программных систем категорически запрещается! При обнаружении экспертом Редакции низкого качества перевода статья отклоняется!

Возможности систем SCOPUS и Web of Science позволяют проводить исследования: по ссылкам, оценивать значение и признание работ конкретных авторов, научный уровень журналов, организаций и стран в целом, определять актуальность научных направлений и проблем, выявлять их точки роста и падения и т.д. Ссылка на публикацию в научной статье является одним из главных показателей качества публикации. А статья с представительным списком литературы демонстрирует профессиональный кругозор и качественный уровень исследований ее авторов

Полный текст должен быть структурированным по разделам. Структура полного текста рукописи, посвященной описанию результатов оригинальных исследований, должна соответствовать общепринятому шаблону и содержать разделы: введение (актуальность), цель и задачи, материалы и методы, результаты, выводы, обсуждение (дискуссия).

1. Инсталляция заготовки Mor-Inst

Вы получили по электронной почте (или некоторым другим способом) файл **Mor-Inst.doc** и должны использовать его на своем текстовом процессоре MS Word 97-2003.

Для того, чтобы начать работу необходимо: скопировать на Ваш компьютер файл **Mor-Inst.doc**, переименовав его под фамилией первого автора (например, **nikitin.doc**).

После выполнения этих действий Ваш текстовый процессор MS Word 97-2003 готов для создания документа в формате *camera ready* для оформления номера.

2. Начало работы с заготовкой Mor-Inst

Итак, предположим, что Вы скопировали заготовку **Mor-Inst.doc** для своего текстового процессора MS Word 97-2003, как это определено в предыдущем разделе данной инструкции.

Теперь, после вызова текстового процессора MS Word 97-2003, из опции основного меню **File**

(Файл) выбирайте подопцию **Open (Открыть)**, а на приглашение выбрать файл отметьте **nikitin.doc** и нажмите клавишу **OK**.

После этого Ваш текстовый процессор откроет документ с данной заготовкой, который существенно облегчит Вашу дальнейшую работу.

Дальнейшая подготовка статьи очень похожа на редактирование “чужого” текста и преобразование его к виду, когда он станет Вашим.

В оставшейся части настоящей инструкции последовательно обсуждаются все основные элементы, которые могут потребоваться при подготовке Вашей статьи.

Обратите внимание на то, что сами элементы заготовки уже выбраны таким образом, чтобы Ваша будущая статья удовлетворяла всем требованиям оформления *sample* ready текстов для публикации в журнале.

3. Основные правила подготовки статей на базе шаблона *Mor-Inst*

4.1. Общие замечания по объему и формату статьи

По решению редакции объемы принимаемых к публикации материалов должны отвечать следующим ограничениям

- объем статьи должен быть не более 5 стр.;
- текст доклада должен укладываться в целое число страниц.

Все материалы должны быть сформатированы для последующей печати на стандартных листах формата А4 со следующим **Layout (Параметрами страницы)** (рис. 1).

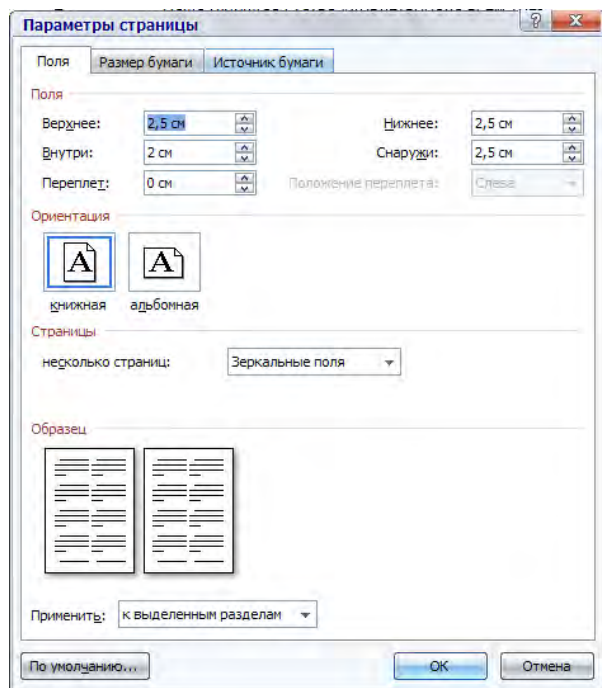


Рис. 1. Общий Layout страницы

Основной текст набирается в **2 колонки**, промежуток между колонками **0,7 мм**; ширина колонки **7,9 мм**.

Нумерация страниц подготавливаемой работы не производится.

Каждая статья должна быть организована следующим образом (данный *sample* сам является примером нужной организации текста статьи):

- УДК.
- Заголовок работы.
- Имя (полностью), Отчество (полностью), Фамилия (полностью).
- Ученое звание и ученая степень (полностью).
- Должность, организация.
- Адрес автора (телефон и электронный адрес, если имеется).
- Если авторов несколько, их фамилии упорядочиваются по алфавиту.
- Аннотация работы (не менее 950 и не более 1800 знаков (с пробелами), то есть 100-250 слов).
- Ключевые слова (8–10).
- Разделы и подразделы основного текста (нумерация сквозная арабскими цифрами у разделов и номер раздела + нумерация сквозная арабскими цифрами у данного подраздела; номер раздела и номер подраздела отделяются друг от друга точкой; после номера раздела (подраздела) ставится точка, а название раздела (подраздела) начинается с заглавной буквы, после заголовков точка не ставится).
- В конце работы (перед списком литературы) может быть нумерованный раздел **Благодарности**, где, как правило, указываются спонсоры (например, номер гранта РФФИ) данной работы.
- Список использованных источников, собранных в нумерованном разделе **Литература**
- После списка литературы размещается список литературы в романском алфавите в нумерованном разделе **References**
- Все заголовки разделов и подразделов центрируются.
- Ссылки на литературу в тексте работы заключаются в квадратные скобки и даются сквозной нумерацией арабскими цифрами.

Заголовок работы, ФИО, ученое звание, ученая степень, должность, организация, адрес авторов (телефон и электронный адрес, если имеется), аннотация работы и ключевые слова публикуются на русском и английском языках.

4.2. Шрифты, используемые при подготовке статьи

Все шрифты, используемые при подготовке статьи, выбираются из набора **Arial**. Если Вы пользуетесь данным *sample*’ом, все размеры будут выставлены правильно и Вам останется только следовать им. Если же Вы пользуетесь твердой копией данного *sample*’а, то используйте следующие размеры шрифтов:

- для названия статьи **Arial 13 прописной, жирный**;
- для УДК **Arial 9 курсив**;
- для ФИО автора (ов), адреса (ов) автора (ов) статьи **Arial 11 прямой**;
- для аннотации **Arial 9, границы текста +10 мм слева и -10 мм справа**;
- для текста статьи **Arial 9,5, абзацный отступ 5 мм**;
- для заголовка Литература **Arial 10,5, жирный, по центру, интервал сверху 12 пт, снизу 4 пт, абзацный отступ 0**;
- для заголовков разделов статьи **Arial 10,5, жирный по центру, интервал сверху 12 пт, снизу 4 пт, абзацный отступ 0**;
- для заголовков подразделов статьи **Arial 9,5, курсив по центру, интервал сверху 12 пт, снизу 4 пт, абзацный отступ 0**;
- для подрисуночных подписей **Arial 8,5, курсив, по центру, интервал сверху 4 пт, снизу 9,5 пт, абзацный отступ 0**;
- для подстраничных ссылок **Arial 8,5, абзацный отступ 0,5**.

4.3. Использование графического материала

В работе допускается использование рисунков, схем, экранных форм и др. графических материалов (обратите внимание на то, чтобы рисунки сохранялись как **цветные** или **черно-белые картинки**) как **внедренных объектов**². Каждое графическое изображение должно представлять собой **единый, цельный** объект.

По возможности используйте для графического материала минимально требуемое разрешение. Это существенно уменьшает объем пересылаемого материала.

Во всех случаях обращайтесь внимание на то, чтобы текстовые подписи на рисунках были набраны с использованием тех же шрифтов, что и основной текст и меньшим размером.

4.4. Использование таблиц

В работе допускается использование таблиц, подготовленных стандартными средствами MS Word 97-2003. В качестве примера ниже дается представление таблицы, подготовленной с помощью этих средств (табл. 1).

Таблица набирается меньшим кеглем.

Слово таблица **Arial 8,5, курсив, вправо, абзацный отступ 0**.

Название таблицы **Arial 8,5, жирный, по центру, интервал снизу 4 пт, абзацный отступ 0**.

Текст в таблице **Arial 8,5**.

Таблица 1

Пример таблицы

N/N	Колонка-1	Колонка-2	Колонка-3	Колонка-4
1.	фффф	ыыыы	111	Ммм
2.	фффф	ыыыы	111	Ммм
3.	фффф	ыыыы	111	Ммм
4.	фффф	ыыыы	111	Ммм

Перед и после таблицы одна пустая строка основного текста.
ФОРМУЛЫ И РИСУНКИ НЕ РАЗМЕЩАТЬ В ТАБЛИЦЕ!!!

4.5. Использование формул

В работе допускается использование формул любой сложности, поддерживаемых компонентой MS Equation.

Если формула появляется в тексте как отдельная строка, она должна быть центрирована и, при необходимости, помечена сквозной нумерацией арабскими цифрами в круглых скобках. Если формула появляется внутри текста, обращайте внимание на размеры используемых шрифтов, чтобы они были «состыкованы» с размерами текста работы.

Ниже приводятся примеры формул в тексте и в отдельной строке.

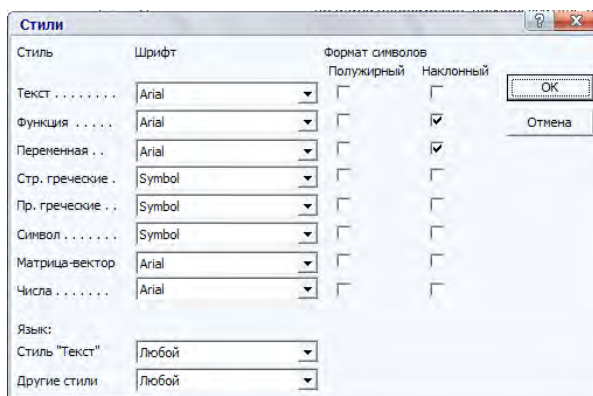
Данный пример иллюстрирует использование формулы в тексте $\sum_{n=1}^{n=K} X_n^k \cdot 1,25$. Здесь при подготовке формулы использованы установки шрифтов by default (по умолчанию). По возможности, пользуйтесь этим способом для подготовки не только формул в тексте статьи, но формул в отдельной строке (1).

$$\forall x \in [a, b] F(x) \leq \varpi \quad (1)$$

Все формулы набираются тем же шрифтом, что и основной текст.

ФОРМУЛЫ НЕ СОХРАНЯТЬ КАК РИСУНОК!!!

Если же это, по каким-либо причинам неудобно и/или невозможно, воспользуйтесь установками, приведенными на рис. 2.



² Статьи с рисунками, нарисованными в тексте документа с помощью панели "Рисование" MS Word 97-2003, рассматриваются редакцией в индивидуальном порядке по согласованию с авторами статей.

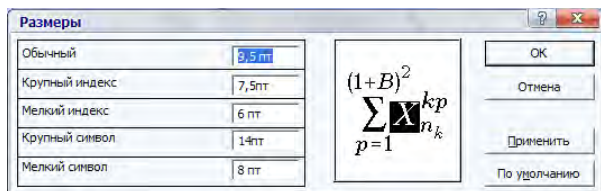


Рис. 2. Установки шрифтов и размеров в MS Equation

Обратите внимание на то, что при наборе формул в тексте, возможно изменение «интервальности». Не бойтесь этого и не пытайтесь уменьшить размер используемого шрифта до нечитаемого уровня. Аналогичное

замечание справедливо и для формул, расположенных в отдельной строке.

4.6. Размещение элементов текста на две колонки

Если таблицы, формулы, рисунки превышают размер одной колонки, то их размещают на **полный формат** (на 2 две колонки).

При этом сохраняются все требования по шрифтам и размерам к этим элементам, когда они набраны на формат одной колонки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ РАЗМЕЩАЕМ НА ПОЛНЫЙ ФОРМАТ.

Таблица 2

Пример таблицы на полный формат

N/N	Колонка-1	Колонка-2	Колонка-3	Колонка-4	Колонка-5
1.	фффф	ЫЫЫЫ	111	МММ	ТТТТ
2.	фффф	ЫЫЫЫ	111	МММ	ТТТТ
3.	фффф	ЫЫЫЫ	111	МММ	ТТТТ
4.	фффф	ЫЫЫЫ	111	МММ	ТТТТ

Пример формулы на полный формат:

$$N_y(t) = \frac{Eh}{1-\mu^2} \left[\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{w}{R} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \frac{\partial w_0}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial y} \right] = \frac{Eh}{1-\mu^2} \xi(t). \quad (2)$$

Пример рисунка на полный формат:

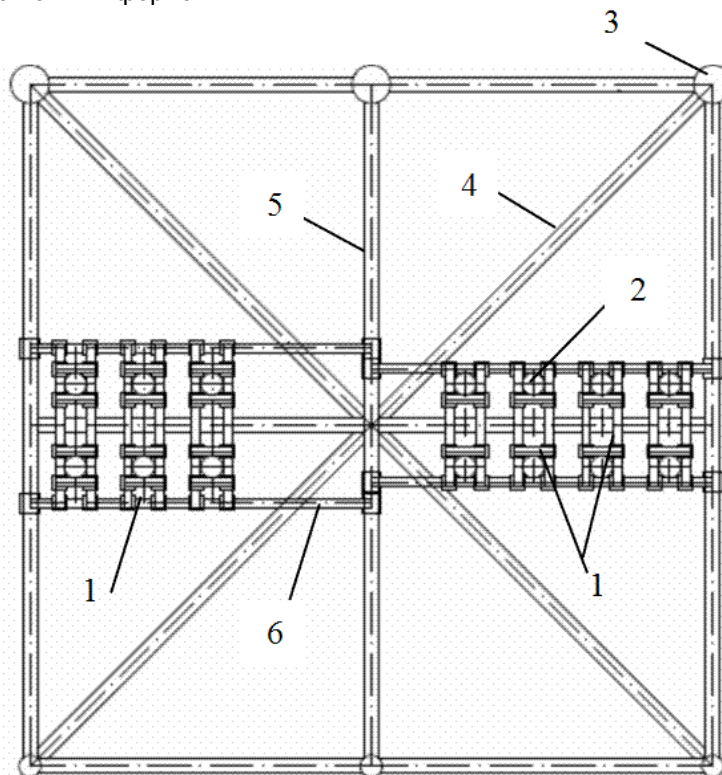


Рис. 3. Раскрепление водоотделяющих колонн с помощью жестких рам (вид в плане на диафрагму МСП): 1 – жесткие рамы; 2 – водоотделяющие колонны; 3 – вертикальные стойки опорного блока; 4 – раскосы опорного блока; 5 – распорка опорного блока; 6 – фундамент жесткой рамы

5. Заключительные замечания

Автор данной инструкции руководствовался единственной целью – уменьшить авторам сложность подготовки статей для журнала.

Благодарности

Авторы могут выразить благодарности людям и организациям, способствовавшим публикации статьи в журнале, но не являющимся её авторами

Информация о спонсорстве. Необходимо указывать источник финансирования как научной работы, так и процесса публикации статьи (фонд, коммерческая или государственная организация и др.). Указывать размер финансирования не требуется.

Литература

В библиографии (пристатейном списке литературы) каждый источник следует помещать с новой строки под порядковым номером. Список литературы должен быть оформлен по ГОСТ Р 7.05-2008.

References

Список литературы на русском языке должен быть представлен и в романском алфавите (латинице), то есть, транслитерирован, (транслитерация – это побуквенная передача текста, написанного с помощью русского алфавита, средствами латинского алфавита), список литературы на других языках должен быть приведен на языке оригинала.

Вся транслитерация списка литературы должна быть выполнена в соответствии с системой Госдепартамента США, которая в настоящее время является наиболее распространенной.

Автоматизировать процесс транслитерации можно, воспользовавшись программным обеспечением, которое доступно по адресу www.translit.ru (в раскрывающемся списке «Варианты» выбираем вариант BGN).

Транслитерированная литература должна быть сформатирована следующим образом:

Структура библиографической ссылки на статью:

Author, A. A., Author, B. B., & Author, C. C. (2005).

Title of article. Title of Journal, 10(2), 49-53.

Материалы конференций:

Usmanov T.S., Gusmanov A.A., Mullagalin I.Z., Muhametshina R.Ju., Chervyakova A.N., Sveshnikov A.V. Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursosberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi" (Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact"). Moscow, 2007, pp. 267-272.

Книги (монографии, сборники, материалы конференций в целом):

Belaya kniga po nanotekhnologiyam: issledovaniya v oblasti nanochastits, nanostruktur i nanokompozitov v Rossiiskoi Federatsii (po materialam Pervogo Vserossiiskogo soveshchaniya uchenykh, inzhenerov i proizvoditelei v oblasti nanotekhnologii [White Book in Nanotechnologies: Studies in the Field of Nanoparticles, Nanostructures and Nanocomposites in the Russian Federation: Proceedings of the First All-Russian Conference of Scientists, Engineers and Manufacturers in the Field of Nanotechnology]. Moscow, LKI, 2007.

Nenashev M.F. Poslednee pravitel'stvo SSSR [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

From disaster to rebirth: the causes and consequences of the destruction of the Soviet Union [Ot katastrofy k vozrozhdeniju: prichiny i posledstviya razrusheniya SSSR]. Moscow, HSE Publ., 1999. 381 p.

Kanevskaya R.D. Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov (Mathematical modeling of hydrodynamic processes of hydrocarbon deposit development). Izhevsk, 2002. 140 p.

Latyshev, V.N., Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye

Ни в одном из зарубежных стандартов на библиографические записи не используются разделительные знаки, применяемые в российском ГОСТе («//» и «-»). Название источника и выходные данные отделяются от авторов и заглавия статьи типом шрифта, чаще всего, курсивом (*italics*), точкой или запятой.

Файл для отправки в систему Российского индекса научного цитирования

УДК 629.12.001.2

Авторы

(Сведения об авторах: фамилия, имя, отчество автора (авторов) полностью, место работы каждого автора, контактная информация (e-mail) для каждого автора)

ФИО Никитин Николай Васильевич,

Уч. ст.,уч. зв. профессор, доктор технических наук,

Должность заместитель генерального директора

Организация НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

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

Координаты для публикации в журнале

e-mail: morintex_spb@mail.ru tel: (812) 513-04-51

Название статьи

Метод топологического проектирования общего расположения

Аннотация

В основе метода положена идея, которая заключается в том, что при проектировании общего расположения происходит последовательный синтез варианта общего расположения, который строится на основе определенной концепции размещения и заключается в последовательном наращивании пространственной структуры корабля с оценкой получающихся частичных решений. Для этого выделены два этапа – определение качественных решений архитектурного облика корабля в виде грубого эскиза и определение количественных характеристик общего расположения. Для решения этих задач предложены пути формализации описания и применения их.

Ключевые слова

общее расположение, грубый эскиз, пространственная структура корабля

Authors

Nikitin Nikolay Vasilevich,
the professor, Dr.Sci.Tech.,
the vice-director

RESEARCH CENTRE «MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES» Ltd.
3, Lotsmanskaya Str., St.Petersburg, 190121 Russia

e-mail: morintex_spb@mail.ru tel: (812) 513-04-51

Article name

Topological design method for the general layout

Abstract

This method is based on the idea that designing of the general layout involves a sequential synthesis of the general layout option, which is built up on a certain arrangement concept and which consists in step-by-step extension of the ship's spatial pattern with evaluation of resulting partial solutions. Two stages are determined for this purpose – determination of qualitative solutions for the ship's architectural appearance in the form of a primal sketch, and determination of the general layout quantitative characteristics. To solve these problems, this publication suggests techniques for formalizing their description and application.

Key words

general layout, primal sketch, ship's spatial pattern.

Шаблон для сопроводительного письма авторов

В редакцию журнала
" МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ "
190008 г.

Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3

СОПРОВОДИТЕЛЬНОЕ ПИСЬМО

Просим опубликовать в журнале " МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ " статью
<заголовок статьи>.

Авторами статьи являются <перечень Ф.И.О. авторов полностью>.

Работа выполнена в <полное и сокращенное название учреждения (учреждений)>.

Текущую переписку по вопросам публикации статьи следует вести с <Фамилия И.О.>.

Координаты для обратной связи:

1. Почтовый адрес (с индексом)

2. E-mail

3. Тел. служебный и домашний (с кодом города)

Авторы согласны с тем, что редакция имеет право на литературное редактирование и доведение статьи до редакторских стандартов, принятых в рамках журнала.

Подпись

<Дата>

Шаблон рецензии

В редакцию журнала
" МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ "
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3

РЕЦЕНЗИЯ

Статья: <Заголовок статьи>.
Статья:<Фамилии И.О. авторов>

I. Информация для редакции

1. Соответствие статьи тематике журнала:
 - статья соответствует тематике журнала (да/нет)
 - если нет, то какие альтернативные журналы могут быть предложены авторам для рассмотрения?
2. Оригинальность и значимость результатов статьи (да/нет/другие оценки):
 - результаты оригинальны
 - результаты имеют научную значимость
 - результаты имеют практическую значимость
3. Качество изложения материала статьи (да/нет/другие оценки):
 - является ли аннотация достаточно информативной
 - понятность изложения статьи
 - следует ли сократить размер статьи
 - ясно ли указана цель статьи
 - адекватно ли определено место статьи в круге других работ
 - можно ли понизить степень подробности математических выкладок
 - адекватен ли список цитированной литературы
 - все ли рисунки и таблицы уместны
 - имеются ли ошибки и технические погрешности
 - строгость изложения математических и экспериментальных результатов
 - достаточно ли обоснованы результаты и выводы статьи
4. Заключение (да/нет)
 - статья может быть принята для публикации без доработки
 - статья требует доработки и повторного рецензирования
 - статья не может быть принята для публикации
 - статью следует передать другому специалисту на рецензирование
5. Замечания и рекомендации по статье для членов редколлегии

Должность, ученое звание и научная степень

<Дата>

<Подпись рецензента>

II. Замечания и рекомендации по статье для авторов

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**

ФГУП «КРЫЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»

ФГБОУ ВПО «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РОССИЙСКОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО СУДОСТРОИТЕЛЕЙ
имени академика А.Н. Крылова

**ПРОГРАММА
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ
КОРАБЛЯ,
посвященной памяти профессора И.Г. Бубнова
и 110-летию со дня образования кафедры строительной механики корабля
«БУБНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ»**

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2014

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Сопредседатели комитета: д.т.н., и.о. ректора СПбГМТУ Апполонов Е.М.
д.т.н., проф., зав. кафедрой СМК Родионов А.А.
к.т.н., нач. отделения прочности и надежности конструкций ФГУП «КГНЦ»
Шапошников В.М.
д.т.н., проф. проректор по международному сотрудничеству СПбГМТУ
Рождественский К.В.

Члены оргкомитета:

д.т.н., проф. Палий О.М.
д.т.н., проф. Тряскин В.Н.
д.т.н., Литонов О.Е.
д.т.н., проф. Крыжевич Г.Б.
д.т.н., Ярцев Б.А.
к.т.н., проф. Фрумен А.И.
к.т.н., доц. Миронов М.Ю.
инженер Безнина О.В.
Ученый секретарь – к.т.н., доц. Шишенин Е.А.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр», ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет» и Центральное правление Российского Научно-технического общества судостроителей имени академика А.Н. Крылова приглашают Вас принять участие в работе научно-технической конференции по строительной механике корабля, посвященной памяти профессора И.Г. Бубнова и 110-летию со дня образования кафедры строительной механики корабля – «Бубновские чтения», которая состоится 23–24 декабря 2014 года в г. Санкт-Петербурге по адресу: ул. Лоцманская, 10.

КАЛЕНДАРЬ РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Дата проведения	Время проведения	Место проведения			
Первый день 23 декабря	9.00–9.30	Регистрация участников, фойе корп. «Б» СПбГМТУ, ул. Лоцманская, 10			
	9.30–12.00	Открытие конференции и пленарное заседание. Корпус «Б» СПбГМТУ, ауд. Б-401			
	12.00–13.00	Кофе-брейк – ауд. Б-217, обед – помещение буфета (3-й этаж)			
	13.00–17.00	Секционные заседания			
		Секция А	Секция В	Секция С	Секция D
	Ауд. Б-215 (2 этаж)	Ауд. Б-400 «Петровский зал» (4 этаж)	Ауд. Б-218 (2 этаж)	Ауд. Б-608 (6 этаж)	
Второй день 24 декабря	9.30–12.00	Секционные заседания			
		Ауд. Б-215 (2 этаж)	Ауд. Б-400 (4 этаж)	Ауд. Б-218 (2 этаж)	Ауд. Б-608 (6 этаж)
	12.00–13.00	Кофе-брейк – ауд. Б-217, обед – помещение буфета (3-й этаж)			
	13.00–17.00	Ауд. Б-215 (2 этаж)	Ауд. Б-400 (4 этаж)	Ауд. Б-218 (2 этаж)	Ауд. Б-608 (6 этаж)
	15.00–17.00	Круглые столы			
		Вычислительные технологии в строительной механике		Проблемы подготовки специалистов высшей квали- фикации для отечественного судостроения	
	Ауд. Б-219 (2 этаж)		Ауд. Б-220 (2 этаж)		

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

День первый
23 декабря

Утреннее заседание
9.30–12.00

1. **Апполонов Е.М.** ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО УЧАСТНИКАМ КОНФЕРЕНЦИИ
2. **Палий О.М.** КРЫЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР – НОСИТЕЛЬ ТРАДИЦИЙ НАУКИ О ПРОЧНОСТИ КОРАБЛЯ
3. **Козляков В.В.** АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ КРИТЕРИЕВ ОБЩЕЙ И МЕСТНОЙ ПРОЧНОСТИ КОРПУСОВ МОРСКИХ СУДОВ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ НОРМ ПРОЧНОСТИ, СОЗДАНЫХ В 1908 Г. И.Г. БУБНОВЫМ
4. **Родионов А.А.** КАФЕДРА СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ: ОТ И.Г. БУБНОВА ДО НАШИХ ДНЕЙ

СЕКЦИЯ А**Руководители секции – д.т.н. Литонов О.Е., к.т.н. Манухин В.А.****День первый**
23 декабря**Дневное заседание**
13.00–17.00

1. **Литонов О.Е.** РИСКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕЛЕДОСТОЙКИХ ПЛАТФОРМ В АКВАТОРИИ С НЕПОСТОЯННОЙ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКОЙ
2. **Капралов В.М.** ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СЛУЧАЙНЫМ ПЕРЕМЕННЫМ НАГРУЗКАМ
3. **Якимов В.В.** РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОРПУСА СУДНА СО ЛЬДОМ
4. **Кулеш В.А., Жю А.А.** СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛЕДОВЫХ КАЧЕСТВ СУДОВ И МОРСКОЙ ТЕХНИКИ
5. **Горетый О.А., Новиков В.В., Суров О.Э.** О НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ СУДОВ С ШИРОКИМ РАСКРЫТИЕМ ПАЛУБЫ
6. **Горетый О.А., Суров О.Э.** ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ КОРПУСОВ СУДОВ С ШИРОКИМ РАСКРЫТИЕМ ПАЛУБ

СЕКЦИЯ А**Руководители секции – д.т.н. Литонов О.Е., к.т.н. Манухин В.А.****День второй**
24 декабря**Утреннее заседание**
09.30–12.00

1. **Кутейников М.А., Одегов В.С.** ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ОБЩЕЙ ПРОЧНОСТИ КРУПНОТОННАЖНЫХ КОНТЕЙНЕРОВОЗОВ
2. **Кутейников М.А., Григорьева О.А., Большев А.С.** МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА ГАЗОВОЗОВ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПК ANSYS И ANCHORED STRUCTURES
3. **Давыдов И.Ф.** О СУММИРОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
4. **Гавриленко В.В., Зметная Е.А.** МЕТОДИКА ВЫРАВНИВАНИЯ НАГРУЗОК НА ДОУ ПРИ ДОКОВАНИИ КОРАБЛЕЙ ВОДОИЗМЕЩЕНИЕМ БОЛЕЕ 30 ТЫС. ТОНН
5. **Нильва В.А.** АНАЛИЗ ОСТАТОЧНОЙ ОБЩЕЙ ПРОЧНОСТИ КОРПУСА ТАНКЕРА СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ
6. **Карпов П.П., Горетый О.А., Суров О.Э., Казанов Г.Т.** УМЕНЬШЕНИЕ ВОЛНОВЫХ ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ ПРИ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ НАГРУЗКИ СУДНА
7. **Лукаш Э.П., Олейников В.В.** НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

СЕКЦИЯ А**Руководители секции – д.т.н. Литонов О.Е., к.т.н. Манухин В.А.****День второй**
24 декабря**Дневное заседание**
13.00–17.00

1. **Егоров Г.В., Егоров А.Г.** АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КОРПУСОВ СУХОГРУЗНЫХ СУДОВ ПРОЕКТОВ 21-88 И 21-89
2. **Анкудинов О.С., Сочинский С.В.** ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАИСКОРЕЙШЕГО СПУСКА ДЛЯ РАСЧЕТА НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ СУДНА

3. **Бутенко Н.Ф.** ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ЖЕСТКОСТИ И ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ШПАНГОУТНЫХ РАМ, СОСТОЯЩИХ ИЗ БЕЗРАСКОСНЫХ ФЕРМ И ОБЪЕМНЫХ ОТСЕКОВ ОДНОТРЮМНЫХ СУДОВ ДОКОВОГО ТИПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ СОСТАВНЫХ СТЕРЖНЕЙ
4. **Шарапов Ю.К.** ПРОЧНОСТЬ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЕСА СУДНА И КООРДИНАТ ЕГО ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАДУВНЫХ ОБОЛОЧЕК
5. **Мамонтов А.И., Миронов В.Н.** НАГРУЗКА НА КОРПУС ПРИ ТОРМОЖЕНИИ О ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНОЕ ОСНОВАНИЕ

СЕКЦИЯ В

Руководители секции – д.т.н. Ярцев Б.А., к.т.н. Фрумен А.И.

День первый
23 декабря

Дневное заседание
13.00–17.00

1. **Алферов В.И., Александров А.В., Платонов В.В., Шапошников В.М.** ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ПОДКРЕПЛЕННОЙ ПАНЕЛИ
2. **Булгаков А.А., Кноринг С.Д., Зайцев Д.В., Павлова В.И.** ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ «АЛЮМИНИЙ-СТАЛЬ» С АСИММЕТРИЧНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ СЛОЕВ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ И ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ
3. **Бардадим Д.А., Яковлев В.С.** ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАСТИН ТИПА ПАКЕТНЫХ МЕМБРАН В СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЯХ
4. **Калиничев А.Е., Яковлев В.С.** СТРУКТУРНО-ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ СУДОВОГО КОРПУСА ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
5. **Францев М.Э.** ПРОЕКТНАЯ ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ В СОЧЕТАНИИ С КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ В КОНСТРУКЦИИ ПАССАЖИРСКОГО ГЛИССИРУЮЩЕГО СУДНА ДЛЯ МАЛЫХ РЕК СИБИРИ И ДАЛЬНОГО ВОСТОКА
6. **Крыжевич Г.Б., Лебедев Д.О.** РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНО НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ШВАРТОВНОГО УСТРОЙСТВА, ОБЛАДАЮЩЕГО ВЫСОКИМИ АМОРТИЗИРУЮЩИМИ И ДЕМПФИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ
7. **Крыжевич Г.Б., Лебедев Д.О.** ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЭНЕРГОПОГЛОЩАЮЩЕГО ШВАРТОВНОГО АМОРТИЗИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА. РАСЧЕТ И ЭКСПЕРИМЕНТ

СЕКЦИЯ В

Руководители секции – д.т.н. Ярцев Б.А., к.т.н. Фрумен А.И.

День второй
24 декабря

Утреннее заседание
09.30–12.00

1. **Ахундов Э.А., Шишенин Е.А., Вагенгейм С.Г., Линев Д.В., Безнина О.В.** ПРОВЕДЕНИЕ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ МЯГКОГО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО КОНТЕЙНЕРА МК-14-10
2. **Лысенко А.П.** УПРУГО-ДИССИПАТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРОЧНОСТЬ СБОРНОЙ КОМПОЗИТНОЙ ВИБРОПОГЛОЩАЮЩЕЙ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ МУФТЫ
3. **Любомиров Я.М., Ярцев Б.А.** ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ НА АЭРОУПРУГОЕ ПОВЕДЕНИЕ КОНСОЛЬНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ПЛАСТИН
4. **Любомиров Я.М., Ярцев Б.А.** АЭРОУПРУГИЙ ОТКЛИК АНИЗОТРОПНОГО КОМПОЗИТНОГО КРЫЛА

5. **Ефимова О.Г., Федонюк Н.Н.** ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ УГЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРЕХСЛОЙНЫХ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ АРМИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ
6. **Додонов П.А., Словцов И.В., Федонюк Н.Н.** ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ ПОВРЕЖДЕНИЯ В ГИБРИДНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ ПРИ МНОГООСНОМ НАГРУЖЕНИИ

СЕКЦИЯ В

Руководители секции – д.т.н. Ярцев Б.А., к.т.н. Фрумен А.И.

День второй
24 декабря

Дневное заседание
13.00–17.00

1. **Белов И.М., Репин Р.В.** ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ ЛЕДОКОЛА ПР. 21900 В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ
2. **Жестков К.Г.** РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ОТСЕКА С ОТКЛОНЕНИЯМИ ФОРМЫ В СРЕДЕ ANSYS v.15
3. **Самсонов Г.Б.** СПОСОБ ОБОБЩЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ
4. **Койсин В.Е.** КОМПОЗИТНАЯ ПЛАСТИНА С ПЕРЕМЕННЫМИ УГЛАМИ АРМИРОВАНИЯ И ТОЛЩИНОЙ: ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ И ПРОЧНОСТИ
5. **Румб В.К.** ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ СУДОВЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ
6. **Мазур Н.А., Фрумен А.И.** ВОПРОСЫ ДИНАМИКИ РОТОРНЫХ АГРЕГАТОВ С УПРУГИМИ ВСТАВКАМИ
7. **Приходько Н.Б., Лейзерович Г.С.** О ПОСТРОЕНИИ ТЕОРИИ ТОНКИХ ПЛАСТИН ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ
8. **Белых М.А., Лейзерович Г.С.** О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ФОРМ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ КРУГОВОГО КОЛЬЦА, НЕСУЩЕГО МАЛУЮ ТОЧЕЧНУЮ МАССУ

СЕКЦИЯ С

Руководители секции – д.т.н. Крыжевич Г.Б., к.т.н. Миронов М.Ю.

День первый
23 декабря

Дневное заседание
13.00–17.00

1. **Крыжевич Г.Б.** ЛЕДОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МОРСКИЕ ПЛАТФОРМЫ. СПОСОБЫ ОЦЕНКИ НАГРУЗОК И КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕРЫ ПО ИХ СНИЖЕНИЮ
2. **Филатов А.Р., Крыжевич Г.Б.** ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕКРЫТИЯ ЛЕДОВОГО ПОЯСА МОРСКОЙ ЛЕДОСТОЙКОЙ ПЛАТФОРМЫ И СОПОСТАВЛЕНИЕ ЕГО РЕЗУЛЬТАТОВ С НАТУРНЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОМ
3. **Вербицкий С.В., Коваль М.Г., Лопашев П.А.** ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК НА КОНСТРУКЦИЮ ДЕФЛЕКТОРА МОРСКОЙ ЛЕДОСТОЙКОЙ СТАЦИОНАРНОЙ ПЛАТФОРМЫ
4. **Александров А.В., Платонов В.В., Гаина А.А., Матанцев Р.А.** ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОДЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ
5. **Александров А.В., Гаина А.А., Никитин В.А., Платонов В.В.** ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУЛЬБОВЫХ НОСОВЫХ ОБВОДОВ КРУПНОТОННАЖНЫХ СУДОВ АРКТИЧЕСКОГО ПЛАВАНИЯ С КАТЕГОРИЕЙ ЛЕДОВЫХ УСИЛЕНИЙ ВЫШЕ ARC4
6. **Бураковский Е.П., Бураковский П.Е.** МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ ПРОГИБОВ СУДОВЫХ ПЛАСТИН ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛОКАЛЬНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК

7. **Алферов В.И., Кудрин М.А., Шапошников В.М.** РАСЧЕТ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОСЛЕ ПОЖАРА В АВАРИЙНОМ ТАНКЕ
8. **Алферов В.И., Шапошников В.М.** АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ПАЛУБНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ СИЛОВОЙ И ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ

СЕКЦИЯ С

Руководители секции – д.т.н. Крыжевич Г.Б., к.т.н. Миронов М.Ю.

День второй
24 декабря

Утреннее заседание
09.30–12.00

1. **Каплунов С.М., Вальес Н.Г., Марчевская О.А., Самолысов А.В.** РАСЧЕТ ПЛОХООБТЕКАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИХ СРЫВНОМ ОБТЕКАНИИ ПОТОКОМ
2. **Комендантов А.В., Таубин А.Г.** ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ НАГРУЗОК ПРИ СЛЕМИНГЕ В ПРОЦЕДУРАХ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ СВЯЗЕЙ СУДОВОГО КОРПУСА
3. **Подольский М.Е.** ПРЯМОЕ ТЕНЗОРНОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ В ЗАДАЧЕ ОБ УСЛОВИЯХ СОВМЕСТНОСТИ ДЕФОРМАЦИЙ
4. **Казакова И.А., Суров О.Э., Каленчук С.В.** МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИБЛИЖЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ПРЕДЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ПЛАСТИНЫ, ПОДКРЕПЛЕННОЙ РЕБРОМ ЖЕСТКОСТИ
5. **Вирячева Н.Н., Коршунов В.А., Манухин В.А.** О РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТОНКИХ ПЛАСТИН ПОСЛЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ
6. **Строганова О.С.** КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ЛОКАЛЬНОГО НАГРУЖЕНИЯ СРЕД СО СЛОЖНОЙ РЕОЛОГИЕЙ
7. **Строганова О.С., Фрумен А.И., Миронов М.Ю.** АНАЛИЗ ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ МОМЕНТНОЙ СРЕДЫ

СЕКЦИЯ С

Руководители секции – д.т.н. Крыжевич Г.Б., к.т.н. Миронов М.Ю.

День второй
24 декабря

Дневное заседание
13.00–17.00

1. **Лалин В.В., Кушова Д.А.** НОВАЯ ТОЧНАЯ ВАРИАЦИОННАЯ ПОСТАНОВКА ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ ТРЕХСЛОЙНЫХ УПРУГИХ СТЕРЖНЕЙ С УЧЕТОМ ЖЕСТКОСТЕЙ НА РАСТЯЖЕНИЕ – СЖАТИЕ, СДВИГ И ИЗГИБ
2. **Упырев В.В.** РАСЧЕТ ГЛУБОКОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ БАЛОК С УЧЕТОМ РАСПОРА
3. **Мартынов Д.А., Духницкая О.В., Миронов М.Ю.** МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗГИБНОГО РАЗРУШЕНИЯ ЛЕДОВОЙ ПЛАСТИНЫ
4. **Аунг Куи Мьинт, Пономарев Д.А., Родионов А.А.** РАЗРЫВ И ДЕФОРМАЦИЯ ДНИЩЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОРПУСА ПРИ УДАРЕ О ПОДВОДНУЮ СКАЛУ
5. **Родионов А.А., Аунг Куи Мьинт.** О ВЛИЯНИИ ФОРМЫ ПОДВОДНОГО ПРЕПЯТСТВИЯ НА РАЗРУШЕНИЕ ДНИЩА
6. **Аунг Куи Мьинт, Коршунов В.А., Пономарев Д.А., Родионов А.А.** АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СУДОВОГО КОРПУСА ПРИ НАВИГАЦИОННЫХ АВАРИЯХ
7. **Степанов В.В.** МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ СВАРОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ОБЪЕМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С КРИВОЛИНЕЙНЫМИ ОБВОДАМИ

СЕКЦИЯ D**Руководители секции – д.т.н. Гайкович А.И., д.т.н. Демешко Г.Ф.****День первый
23 декабря****Дневное заседание
13.00–17.00**

1. **Гайкович А.И.** Дифференциальное уравнение нагрузки И.Г. Бубнова и решение задачи оптимизации судна как задачи линейного программирования
2. **Демешко Г.Ф., Бойцун И.И., Морейнис Ф.А., Рюмин С.Н.** Обоснование перспективного паромного комплекса для транспортировки грузов в акватории Каспийского моря
3. **Егоров А.Г.** ОЦЕНКА МАССЫ КОРПУСА ГРУЗОВЫХ СУДОВ СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ НА СТАДИИ ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
4. **Егорова О.Г.** ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЙОНА ПЛАВАНИЯ НА МЕТАЛЛОЕМКОСТЬ ТАНКЕРА СМЕШАННОГО РЕКА – МОРЕ ПЛАВАНИЯ
5. **Егоров Г.В.** ПРОЕКТНЫЙ РЯД НЕФТЕНАЛИВНЫХ СУДОВ СМЕШАННОГО РЕКА – МОРЕ ПЛАВАНИЯ
6. **Егоров Г.В.** ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОРПУСОВ СОВРЕМЕННЫХ СУДОВ СМЕШАННОГО РЕКА – МОРЕ ПЛАВАНИЯ

СЕКЦИЯ D**Руководители секции – д.т.н. Гайкович А.И., д.т.н. Демешко Г.Ф.****День второй
24 декабря****Утреннее заседание
09.30–12.00**

1. **Егоров Г.В., Автутов Н.В.** «КОНВЕРСИЯ» СУДОВ КАК СПОСОБ СОХРАНЕНИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА
2. **Егоров Г.В., Ильицкий И.А., Черников Д.В.** «ЛИНЕЙКА» ЧЕРНОМОРСКИХ ГРУЗОВЫХ И ГРУЗОПАССАЖИРСКИХ ПАРОМОВ (ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ КОРПУСОВ)
3. **Егоров Г.В., Калугин Я.В.** ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ НОВОГО КРУИЗНОГО СУДНА «АЛЕКСАНДР ГРИН» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОРПУСА СУДНА-ДОНОРА
4. **Егоров Г.В., Тонюк В.И., Бойко И.Н.** ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ НОВОГО КОНЦЕПТА КОМБИНИРОВАННОГО СУДНА «ВОЛГО-ДОН МАКС» КЛАССА (ТАНКЕРА-ПЛОЩАДКИ)
5. **Егоров Г.В., Тонюк В.И., Егоров А.Г.** ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОРПУСОВ РЕЧНЫХ ПАРОМОВ ДЛЯ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ РОССИИ

СЕКЦИЯ D**Руководители секции – д.т.н. Гайкович А.И., д.т.н. Демешко Г.Ф.****День второй
24 декабря****Дневное заседание
13.00–17.00**

1. **Преснов С.В.** О ТОЛКАЕМЫХ СОСТАВАХ СМЕШАННОГО (РЕКА – МОРЕ) ПЛАВАНИЯ
2. **Аносов А.П., Исаков А.А., Шаринкова О.С., Шмелев А.М.** КОНСТРУКЦИЯ ДНИЩЕВОГО ПЕРЕКРЫТИЯ СУДНА ДЛЯ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ НА НЕОБОРУДОВАННЫЙ БЕРЕГ
3. **Аносов А.П.** РУЛЕВОЕ УСТРОЙСТВО С ПЕРОМ РУЛЯ ИЗМЕНЯЕМОГО ПРОФИЛЯ
4. **Аносов А.П., Шаринкова О.С.** УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВИНТОРУЛЕВОГО КОМПЛЕКСА СУДНА ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ
5. **Антоненко С.В., Рыбалкин Ю.Г., Немкин Д.В.** МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕДАТОЧНОГО ПЛАВУЧЕГО ДОКА «САКУРА»

КРУГЛЫЕ СТОЛЫ

День второй
24 декабря

Дневное заседание
15.00–17.00

1. **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ**
Модератор – **Петров А.Ю.**, к.т.н., зам. директора Северо-Западного филиала САДФЕМ-CIS
2. **ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО СУДОСТРОЕНИЯ**
Модератор – **Миронов М.Ю.**, к.т.н., доцент кафедры строительной механики корабля

СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ ДЛЯ УЧАСТНИКОВ КОНФЕРЕНЦИИ

1. Конференция проводится во ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет» – 190008, г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 10.

Для организации прохода участников конференции на территорию института необходимо заранее сообщить фамилию, имя и отчество.

2. За справками обращаться: 190008, г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 10; тел. (812) 494-09-42.

3. Оргкомитет просит приобретать обратные билеты по месту жительства.

4. Регламент работы конференции

1. Продолжительность доклада – 15 минут.

2. Выступления при обсуждении доклада – 5 минут.