

MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES

| 4 Hz | 86 Hz | 170 Hz | 340 Hz | 679 Hz | 1.3 kHz | 2.6 kHz | 5.1 kHz | 10.1 kHz | 20 kHz

МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

00110100100111001010011010100100010111001100100101011001100110011010010010010001010101
00110101101100110011001100110010011001100110011001100110011001100110011001100110011001
1001000110
1010011011001100110011001100110011001100110011001100110011001100110011001100110011001
110110
11001
00011001
11001
011001

№ 4 (30) Т.1 2015



**Труды
Санкт-Петербургского
государственного морского технического университета**



МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал № 4 (30) Т.1 2015 www.morintex.ru ISSN 2073-7173

Тематика: кораблестроение, информатика, вычислительная техника и управление

Главный редактор:

Н.В. Никитин, д.т.н., профессор

Редакционный Совет

Сопредседатели

И.Г.Захаров, д.т.н., профессор, заместитель генерального директора ЦМКБ «Алмаз»

Е.М. Апполонов, д.т.н., профессор, Ректор, СПбГМТУ

Члены Совета

А.В. Архипов, д.т.н., профессор, начальник НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ

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

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

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

Пентти Куяла, профессор, университет Аалто, Финляндия

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

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

В.Н. Тряскин, д.т.н., профессор, проректор, СПбГМТУ по учебной работе

А.К. Филимонов, д.т.н., профессор, проректор СПбГМТУ по научной работе

А.В. Шляхтенко, д.т.н., профессор, генеральный директор-генеральный конструктор, ЦМКБ «Алмаз»

Редакционная коллегия

Заместители главного редактора

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

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

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

Члены Редколлегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Периодичность издания — 4 номера в год

Журнал включен в систему Российского индекса

научного цитирования (РИНЦ) <http://vak.ed.gov.ru>

Рукописи представляются в редакцию в электронном

виде (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 журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

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

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

Напечатано в центре полиграфии НИЦ «МОРИНТЕХ»

Дизайн: А.В. Антонов

Фото волны: А.Ю. Полушин



MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES

Scientific journal № 4 (30) V.1 2015 www.morintex.ru ISSN 2073-7173

Subject: shipbuilding, computer science, computer engineering and management

Chief Editor:

N. V. Nikitin, Doctor of Engineering, Professor

Editorial Board

Co-chairmen

I.G. Zakharov, Doctor of Engineering, Professor, Vice-CEO ZMKB "Almaz"

E.M. Appolonov, Doctor of Engineering, Professor, Rector, Saint-Petersburg State Marine Technical University

Council Members

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

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

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

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

Pentti Kujala, Professor, Aalto University, Finland

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

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

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

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

A.V. Shlyakhtenko, Doctor of Engineering, Professor, CEO and Chief Designer, ZMKB "Almaz"

Editorial Staff

Deputy Chief Editors

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

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

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

Members of Editorial Staff

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Publication frequency — 4 issues per year

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

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

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

Registration Certificate: ПИ № ФС77-32382 of 09.06.2008

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

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

e-mail: mit-journal@mail.ru

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

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

Authors and advertisers are responsible for contents of information and advertisement materials as well as for use of information not liable to publication in open press. Reprinting is allowed only with permission of the editorial office.

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

Editorial ethics of the scientific journal «MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES»

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

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

Design: A.V. Antonov

Photo on cover: A.Yu. Polushin



**ТРУДЫ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
МОРСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

51

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ
СУДОРЕМОНТА



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



Санкт-Петербург, Ломоносов
198472, ул. Михайловская, д.14
Тел./факс: (812) 423 1600

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



СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
О журнале	7
<i>Теория корабля и строительная механика</i>	
Семенова В.Ю., Аунг Мье Тханг Определение гидродинамических коэффициентов присоединенных масс и демпфирования при совместной качке двух судов	9
Семенова В.Ю., Киав Тхура Определение нелинейных сил второго порядка, обусловленных разностью частот при дифракции волнения от неподвижного контура.....	16
Серажутдинов О.М., Чистяков В.А. Технология снижения оксидов азота в отработавших газах судовых дизелей.....	23
Сергеев М.С. Расчет спасательного модуля с пневматической тягой	29
Трошов С.Т., Фрумен А.И. Методы повышения надежности эксплуатации винторулевых колонок рейдовых буксиров	32
<i>Проектирование и конструкция судов</i>	
Артюшина Т. Г., Гайкович А.И, Никитин Н.В. Определение буксировочной мощности на начальных стадиях проектирования	36
Ляховицкий А.Г. Инновационные принципы проектирования скоростных судов	41
<i>Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)</i>	
Левенталь М.Ю. Модели турбулентности в расчетах обтекания профилей осевых турбин	47
<i>Физические поля корабля, океана, атмосферы и их взаимодействие</i>	
Легуша Ф.Ф, Мусакаев М.А., Попков С.В., Ткаченко И.В. Влияние диссипации энергии в акустическом пограничном слое на коэффициент отражения плоской звуковой волны от границы газ-жидкость	51
Легуша Ф.Ф., Невеселова К.В. Экспериментальные исследования современных термофонов	58
Васильев Б.П. Невеселова К.В. Разработка аппаратно-программных комплексов для малогабаритных беспилотных летательных аппаратов в целях мониторинга морских акваторий.....	64
Павловский В.А., Мишутинский Ю.Н., Неверов С.А. Сравнительный анализ различных термических моделей реальных газов	70

CONTENTS

	page
About journal	7
<i>Theory of the ship and structural mechanics</i>	
Semenova V.Y., Aung Myo Thant The determination of hydrodynamics coefficients of added masses and damping the joint motions of two ships in waves	9
Semenova V.Y., Kyaw Thura The determination of nonlinear forces of forces of the second order due to the difference of frequencies during the diffraction of the waves from a fixed two-dimensional body	16
Serazhutdinov O.V. Chistyakov V. A. Technologies of reduction of nitrogen oxides the exhaust gases of marine diesel engines	23
Sergeev M.S. Motion computation of the emergency quarters with a pneumatic draft	29
Troshov S.T., Frumen A.I. Methods of increase operational reliability rudder propellers raid tugs	32
<i>Design and construction of vessels</i>	
Artjushina T.G., Gajkovich A.I., Nikitin N.V. Determination of towing power at initial design stages	37
Lyakhovitsky A. G. Innovative principles design of high-speed ships	42
<i>Ship Power Plants and Their Elements (Main and Auxiliary)</i>	
Levental M.Y. Turbulence models for flow calculation in axial turbine rows	48
<i>Physical Fields of Ship, Ocean, Atmosphere and Their Interaction</i>	
Legusha F.F., Musakaev M.A., Popkov S.V., Tkachenko I. V. Influence of acoustic boundary layer energy dissipation on coefficient of plain acoustic wave reflection from gas-liquid boundary	53
Legusha F.F., Neveselova K.V. Experimental investigations on modern thermophones	61
Vasilev B.P., Neveselova K.V. Thermoacoustic sources of a sound on the basis of flat wire structures	66
Pavlovsky V.A., Mishutinskiy Yu.N., Neverov S.A. Comparative analysis of thermal models state of real gases	72

О ЖУРНАЛЕ

Главное

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

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

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

В журнале обязательно рецензирование статей ведущими специалистами по профилю статьи.

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

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

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

Тематика

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

Основные направления

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

ABOUT JOURNAL

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

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

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

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

Subscription index is 99366 in Interregional Subscription Agency.

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

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

Subject

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

Basic Magazine Trends

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

Теория корабля и строительная механика

УДК 629.12.073.243.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИСОЕДИНЕННЫХ МАСС И ДЕМПФИРОВАНИЯ ПРИ СОВМЕСТНОЙ КАЧКЕ ДВУХ СУДОВ

Семенова Виктория Юрьевна

Д.т.н., профессор, профессор кафедры теории корабля
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 10
тел: 8-905-229-71-98, e-mail: sem_viktorial@mail.ru

Аунг Мьо Тхант

аспирант
(Санкт-Петербургский государственный морской технический университет).
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 10
tel: +7 (951) 661-25-01 e-mail: aungmyothant.amt@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается трехмерная потенциальная задача о совместной качке двух в жидкости безграничной глубины. Ее решение осуществляется на основании методов интегральных уравнений с учетом граничных условий на смоченных поверхностях обоих судов. Представленное решение в отечественной практике является новым. Результаты расчетов, полученные авторами приводятся в сопоставлении с экспериментальными результатами, полученными Oortmerssen для совместной продольной качки вертикального цилиндра и прямоугольного понтона. Показано очень хорошее согласование результатов между собой. Особое внимание уделяется исследованию влияния изменения расстояния между различными судами при их параллельном и последовательном расположении на коэффициенты присоединенных масс и демпфирования. Расчеты приведены для разных судов. Анализ полученных результатов показывает увеличение большинства коэффициентов присоединенных масс и демпфирования и сдвиг их максимальных значений в область средних частот независимо от расположения судов. Делается вывод о необходимости учета всех гидродинамических коэффициентов при расчетах поперечной и продольной качки.

Ключевые слова: метод интегральных уравнений, функция Грина, присоединенные массы судна, коэффициенты демпфирования, качка.

THE DETERMINATION OF HYDRODINAMICS COEFFICIENS OF ADDED MASSES AND DAMPING DURING THE JOINT MOTIONS OF TWO SHIPS IN WAVES

Semenova Viktoriya Yur'evna

Dr.Sci.Tech., the professor, the professor of DEPARTMENT OF THEORY OF THE SHIP ,
STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation
tel: +7 (905) 229-71-98 e-mail: sem_viktorial@mail.ru

Aung Myo Thant

post-graduate student
STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation
tel: +7 (951) 661-25-01 e-mail: aungmyothant.amt@mail.ru

Abstract

This paper is about the three dimensional potential problem of the motions of two ship in infinitely depp water. Numerical method of the integral equations is used for the solution of this problem with the account of the boundary conditions on the wetted surfaces of both vessels. The solution presented in the national practice is new. The results of calculations obtained by the authors are compared with experimental results obtained by Oortmerssen for joint longitudinal motion of a vertical cylinder and a rectangular pontoon. Shows a very good agreement of results among themselves. Special consideration is given to the investigation of the influence of the variation of distance between the ships, floating side-by-side and during their sequential arrangement on the added masses and damping coefficients. Calculations of these values are presented for different ships. Analysis of the results shows an increase of most of the coefficients of added masses and damping and a shift of their maximum values at medium frequencies regardless of the location of the ships. The conclusion about the necessity of taking into account of all hydrodynamic coefficients in the calculations of the lateral and longitudinal motions of ships is made.

Key words: method of the integral equations , Green function, added masses of a ship, damping coefficients, the motions of ship.

Введение

Сведения о гидродинамических коэффициентах, характеризующих совместную качку двух судов необходимы для решения ряда практических задач. К таким задачам относятся : передача груза с одного судна на другое , разработка методов снабжения судов топливом , оценка возможности швартовки судов в условиях волнения. Результаты экспериментов с моделями показывают, что при рассмотрении совместной качки судов значительное влияние имеют гидродинамические коэффициенты присоединенных масс и демпфирования, обусловленные непосредственно взаимодействием двух судов , пренебрежение которыми приводит к существенным ошибкам. В отечественной практике задача о совместной качке двух судов решается на основании двумерного метода с учетом эффекта экранирования[1]. Данный подход основан на использовании ряда допущений , не позволяющих точно учесть влияние гидродинамического взаимодействия.

Точный учет гидродинамического взаимодействия при совместной качке двух судов возможен только при использовании трехмерных методов. В связи с этим, в настоящей работе рассматривается решение данной задачи в трехмерной постановке на основании использования метода интегральных уравнений.

1. Описание расчетного метода

В соответствии с линейной теорией качки судна, потенциалы движения жидкости каждого судна при их совместной качке на тихой воде можно представить в виде следующей суперпозиции:

$$\Phi_A = \sum_{j=1}^6 U_{jA} \varphi_{jAA} + \sum_{j=1}^6 U_{jB} \varphi_{jBA}, \quad (1)$$

$$\Phi_B = \sum_{j=1}^6 U_{jB} \varphi_{jBB} + \sum_{j=1}^6 U_{jA} \varphi_{jAB} \quad (2)$$

где U_{jA}, U_{jB} - скорости отдельных видов качки судна А и судна В.

Потенциалы Φ_A и Φ_B должны удовлетворять уравнению Лапласа, граничным условиям на свободной и смоченной поверхностях, а также условиям на дне водоема и на бесконечном удалении от двух судов. Граничные условия на свободной и смоченной поверхностях для потенциалов имеют следующий вид :

$$\frac{\partial \Phi_A}{\partial \zeta} - K \Phi_A = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \Phi_B}{\partial \zeta} - K \Phi_B = 0;$$

$$K = \frac{\omega^2}{g}$$

$$\frac{\partial \varphi_{jAA}}{\partial n} = n_{jA}; \quad \frac{\partial \varphi_{jBA}}{\partial n} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \varphi_{jAB}}{\partial n} = 0; \quad \frac{\partial \varphi_{jBB}}{\partial n} = n_{jB}$$

Задача сводится к определению потенциалов $\varphi_{jAA}, \varphi_{jBA}, \varphi_{jAB}, \varphi_{jBB}$, обусловленных отдельными видами качки и гидродинамическим взаимодействием судов .

Для ее решения используется теорема Грина, согласно которой каждый из искомых потенциалов можно представить следующим образом :

$$\varphi_{iAA}(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{4\pi} \iint_{S_A} \sigma_{iA1}(\xi_1, \eta_1, \zeta_1) G_{AA}(\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1) dS_A + \frac{1}{4\pi} \iint_{S_B} \sigma_{iB1}(\xi_1, \eta_1, \zeta_1) G_{BA}(\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1) dS_B; \quad (3)$$

$$\varphi_{iAB}(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{4\pi} \iint_{S_A} \sigma_{iA1}(\xi_1, \eta_1, \zeta_1) G_{AB}(\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1) dS_A + \frac{1}{4\pi} \iint_{S_B} \sigma_{iB1}(\xi_1, \eta_1, \zeta_1) G_{BB}(\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1) dS_B; \quad (4)$$

$$\varphi_{iBA}(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{4\pi} \iint_{S_A} \sigma_{iA2}(\xi_1, \eta_1, \zeta_1) G_{AA}(\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1) dS_A + \frac{1}{4\pi} \iint_{S_B} \sigma_{iB2}(\xi_1, \eta_1, \zeta_1) G_{BA}(\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1) dS_B; \quad (5)$$

$$\varphi_{iBB}(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{4\pi} \iint_{S_A} \sigma_{iA2}(\xi_1, \eta_1, \zeta_1) G_{AB}(\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1) dS_A + \frac{1}{4\pi} \iint_{S_B} \sigma_{iB2}(\xi_1, \eta_1, \zeta_1) G_{BB}(\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1) dS_B, \quad (6)$$

где S_A - площадь смоченной поверхности судна А , S_B -площадь смоченной поверхности судна В. Для функции Грина на глубокой воде используется следующая общая формула, в которую при вычислении вышеперечисленных потенциалов подставляются соответствующие координаты первого или второго судна.

$$G(\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1) = \frac{1}{r} + \frac{1}{r_1} + \quad (7)$$

$$+ 2\nu \int_0^{\infty} \frac{e^{-k(\zeta+\zeta_1)}}{k-\nu} J_0(kR) dk + i2\pi\nu \cdot e^{\nu(\zeta+\zeta_1)} J_0(\nu R),$$

Системы уравнений для определения

интенсивностей потенциалов вынужденного движения жидкости имеют вид:

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{2}\sigma_{jA1}(\xi, \eta, \zeta) + \\ & + \frac{1}{4\pi} \iint_{S_A} \sigma_{jA1}(\xi_1, \eta_1, \zeta_1) \frac{\partial G_{AA}}{\partial n}(\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1) dS_A + \\ & + \frac{1}{4\pi} \iint_{S_B} \sigma_{jB1}(\xi_1, \eta_1, \zeta_1) \frac{\partial G_{BA}}{\partial n}(\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1) dS_B = n_{jA}; \\ & -\frac{1}{2}\sigma_{jB1}(\xi, \eta, \zeta) + \\ & + \frac{1}{4\pi} \iint_{S_A} \sigma_{jA1}(\xi_1, \eta_1, \zeta_1) \frac{\partial G_{AB}}{\partial n}(\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1) dS_A + \\ & + \frac{1}{4\pi} \iint_{S_B} \sigma_{jB1}(\xi_1, \eta_1, \zeta_1) \frac{\partial G_{BB}}{\partial n}(\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1) dS_B = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{2}\sigma_{jA2}(\xi, \eta, \zeta) + \\ & + \frac{1}{4\pi} \iint_{S_A} \sigma_{jA2}(\xi_1, \eta_1, \zeta_1) \frac{\partial G_{AA}}{\partial n}(\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1) dS_A + \\ & + \frac{1}{4\pi} \iint_{S_B} \sigma_{jB2}(\xi_1, \eta_1, \zeta_1) \frac{\partial G_{BA}}{\partial n}(\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1) dS_B = 0; \\ & -\frac{1}{2}\sigma_{jB2}(\xi, \eta, \zeta) + \\ & + \frac{1}{4\pi} \iint_{S_A} \sigma_{jA2}(\xi_1, \eta_1, \zeta_1) \frac{\partial G_{AB}}{\partial n}(\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1) dS_A + \\ & + \frac{1}{4\pi} \iint_{S_B} \sigma_{jB2}(\xi_1, \eta_1, \zeta_1) \frac{\partial G_{BB}}{\partial n}(\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1) dS_B = n_{jB}. \end{aligned} \quad (9)$$

Коэффициенты присоединенных масс и демпфирования для каждого судна определяются согласно выражениям:

$$\lambda_{ijAA} = \rho \iint_{S_A} \left(-\operatorname{Re} \varphi_{jAA} - \frac{U}{\omega_K} \frac{\partial}{\partial \xi} \operatorname{Im} \varphi_{jAA} \right) n_i dS_A; \quad (10)$$

$$\mu_{ijAA} = \rho \iint_{S_A} \left(-\omega_K \operatorname{Im} \varphi_{jAA} - U \frac{\partial}{\partial \xi} \operatorname{Re} \varphi_{jAA} \right) n_i dS_A;$$

$$\lambda_{ijBA} = \rho \iint_{S_A} \left(-\operatorname{Re} \varphi_{jBA} - \frac{U}{\omega_K} \frac{\partial}{\partial \xi} \operatorname{Im} \varphi_{jBA} \right) n_i dS_A; \quad (11)$$

$$\mu_{ijBA} = \rho \iint_{S_A} \left(-\omega_K \operatorname{Im} \varphi_{jBA} - U \frac{\partial}{\partial \xi} \operatorname{Re} \varphi_{jBA} \right) n_i dS_A;$$

$$\lambda_{ijBB} = \rho \iint_{S_B} \left(-\operatorname{Re} \varphi_{jBB} - \frac{U}{\omega_K} \frac{\partial}{\partial \xi} \operatorname{Im} \varphi_{jBB} \right) n_i dS_B; \quad (12)$$

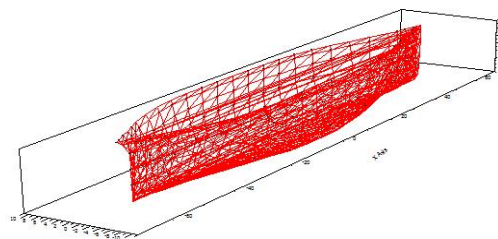
$$\mu_{ijBB} = \rho \iint_{S_B} \left(-\omega_K \operatorname{Im} \varphi_{jBB} - U \frac{\partial}{\partial \xi} \operatorname{Re} \varphi_{jBB} \right) n_i dS_B;$$

$$\lambda_{ijAB} = \rho \iint_{S_B} \left(-\operatorname{Re} \varphi_{jAB} - \frac{U}{\omega_K} \frac{\partial}{\partial \xi} \operatorname{Im} \varphi_{jAB} \right) n_i dS_B; \quad (13)$$

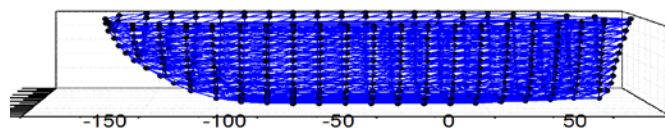
$$\mu_{ijAB} = \rho \iint_{S_B} \left(-\omega_K \operatorname{Im} \varphi_{jAB} - U \frac{\partial}{\partial \xi} \operatorname{Re} \varphi_{jAB} \right) n_i dS_B.$$

Здесь коэффициенты λ_{ijAA} , μ_{ijAA} , λ_{ijBB} , μ_{ijBB} представляют собой собственные коэффициенты присоединенных масс и демпфирования судна А и судна В. Коэффициенты λ_{ijAB} , μ_{ijAB} , λ_{ijBA} , μ_{ijBA} являются исключительно коэффициентами взаимодействия, непосредственно учитывающими влияние одного судна на другое.

Для реализации изложенного численного метода смоченная поверхность каждого судна разбивается на треугольные панели [2]. На рис.1 представлены примеры разбивки для сухогруза «Новгород» и лихтеровоза «Алексей Косыгин»



Сухогруз «Новгород»



Лихтеровоз «Алексей Косыгин»

Рис.1. Разбивка смоченной поверхности для использования численного метода

2. Анализ результатов

На основании изложенного метода была разработана программа расчета гидродинамических коэффициентов при совместной качке двух судов.

В целях апробации, полученные результаты были сопоставлены с экспериментальными данными Oortmerssen[4], полученными для совместной качки вертикального цилиндра и прямоугольного понтона (рис.1-3)

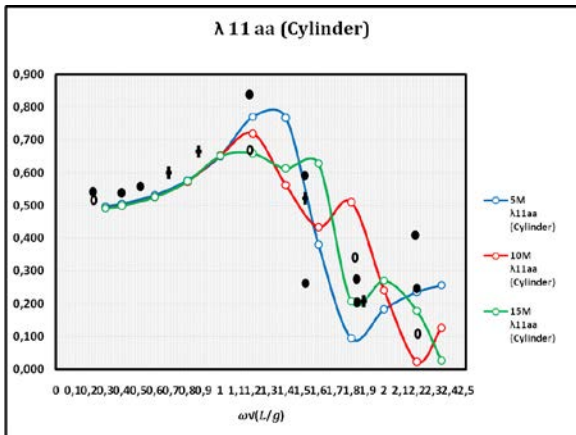


Рис.2. Значения присоединенной массы для цилиндра.

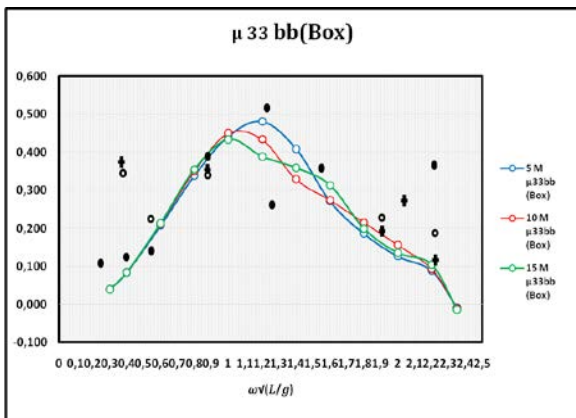


Рис.3. Значения присоединенной массы для понтона

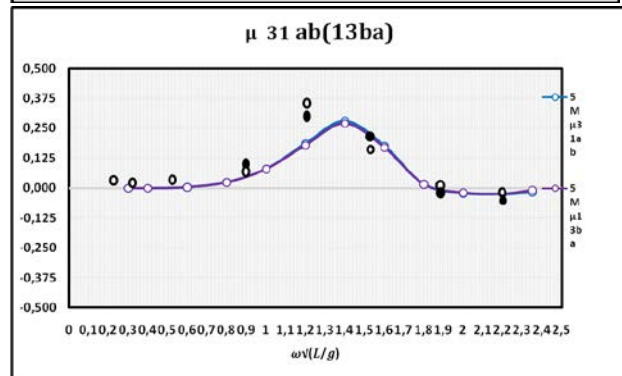
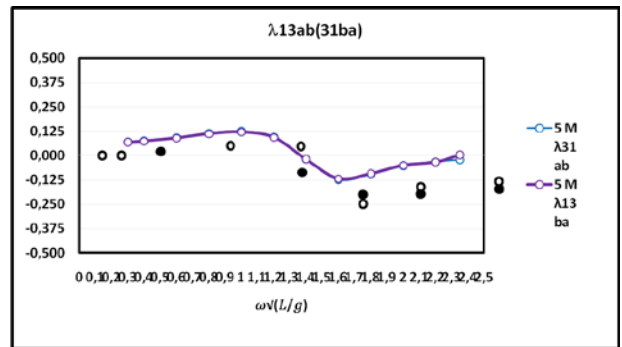
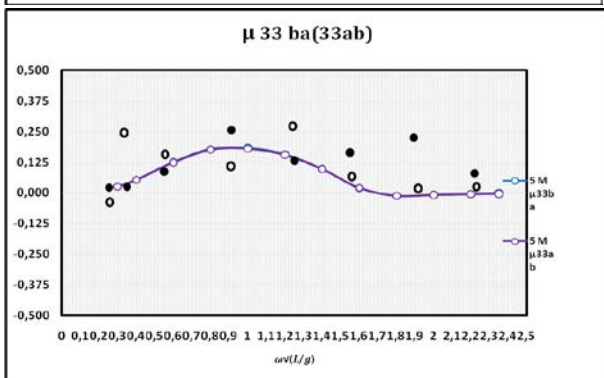
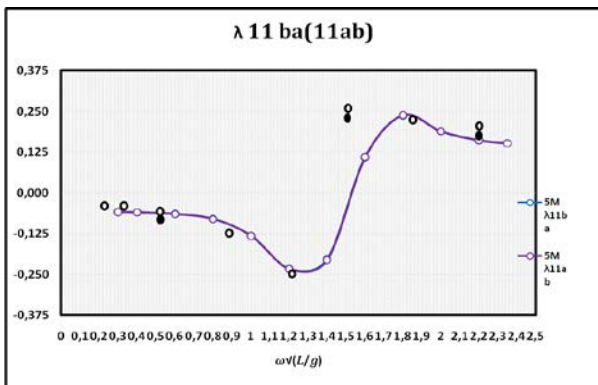
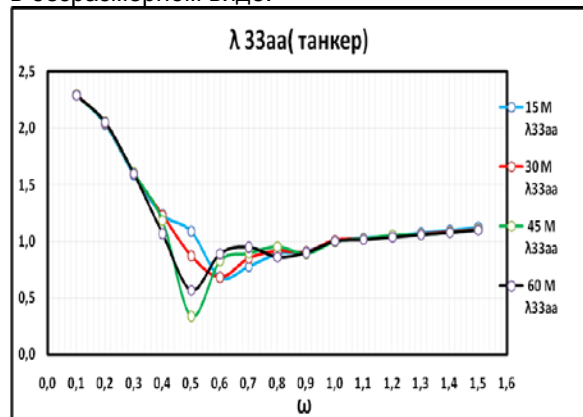


Рис.4. Значения коэффициентов присоединенных масс и демпфирования для цилиндра и понтона.

Из приведенных сопоставлений видно очень хорошее согласование результатов при различных расстояниях между объектами.

В целях исследования влияния расстояния между судами на гидродинамические коэффициенты присоединенных масс и демпфирования были проведены расчеты данных коэффициентов для танкера (L=310м, V=47,17 м³, T=18,9 м, δ=0,85) и баржи (L=150м, V=50 м³, T=10 м) при их параллельном расположении. Расстояние между бортами принималось равным 15 м, 30 м, 45 м и 60 м. Характерные результаты расчетов присоединенных масс приведены на рис.4, а коэффициентов демпфирования на рис.5. Все коэффициенты приведены в безразмерном виде.



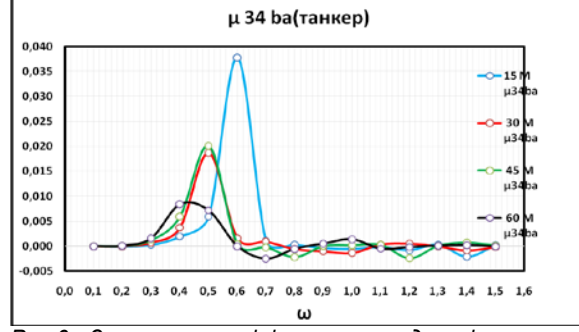
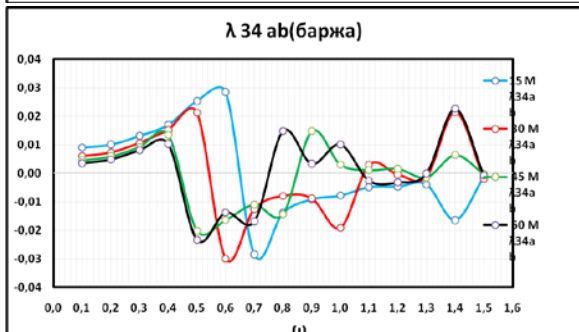
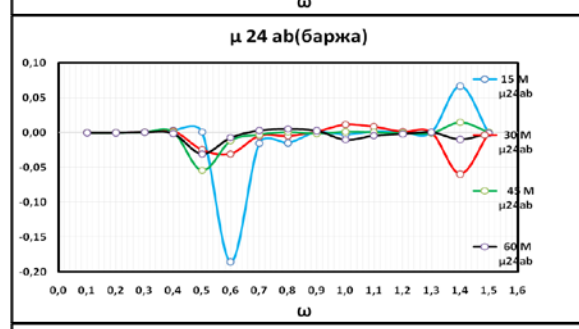
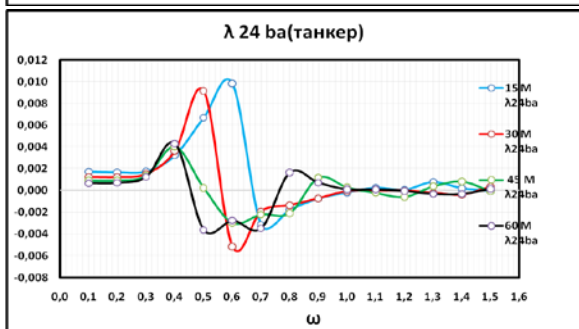
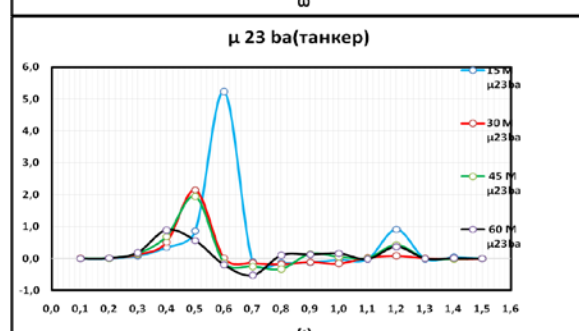
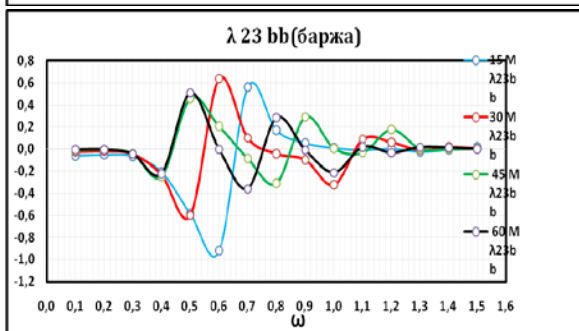
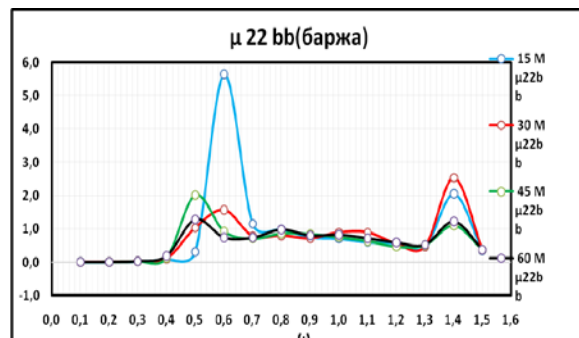
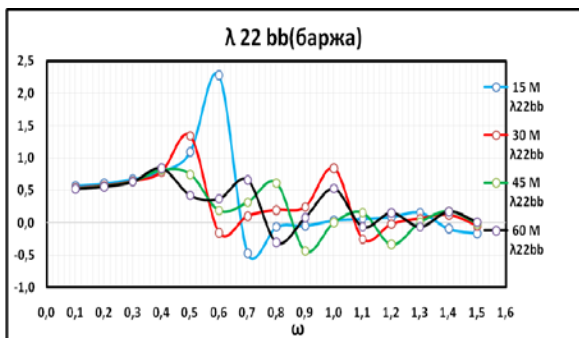
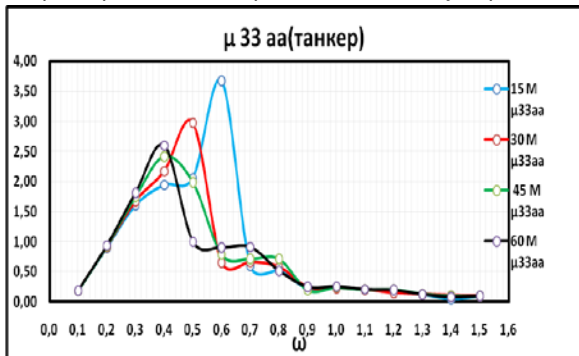


Рис.5. Значения коэффициентов присоединенных масс, возникающих при совместной качке танкера и баржи при изменении расстояния между бортами.

Рис.6. Значения коэффициентов демпфирования, возникающих при совместной качке танкера и баржи при изменении расстояния между бортами.



Анализ полученных результатов показал, что при параллельном расположении судов изменение расстояния между ними влияет на все без исключения коэффициенты присоединенных масс и демпфирования. В диапазоне частот $\omega < 0,8$ происходит наибольшее изменение величин коэффициентов в зависимости от расстояния. Уменьшение расстояния между судами приводит к значительному увеличению всех коэффициентов (рис.4-5)

Так при $\omega=0,6$ коэффициент демпфирования вертикальной качки танкера μ_{33aa} при расстоянии $d=15$ м в 3,5 раза больше того же коэффициента при $d=60$ м.

Для всех коэффициентов характерен сдвиг максимальных значений в область средних частот при уменьшении расстояния между судами.

Коэффициенты присоединенных масс $\lambda_{22}, \lambda_{33}$, также как и в случае качки судна параллельно вертикальной стенке [3] могут иметь отрицательные значения, что не является недостатком метода, а объясняется появлением стоячих волн между корпусами.

При совместной поперечной качке необходимо учитывать влияние таких коэффициентов как $\lambda_{23}, \lambda_{34}, \mu_{23}, \mu_{34}$, отсутствующих при качке изолированного судна. При этом анализ результатов расчетов показывает, что коэффициенты взаимодействия $\lambda_{ijab}, \lambda_{ijba}, \mu_{ijab}, \mu_{ijba}$, учитывающие влияние одного судна на другое соизмеримы с собственными коэффициентами $\lambda_{ijaa}, \lambda_{ijbb}, \mu_{ijaa}, \mu_{ijbb}$ и при расчетах амплитуд качки не учитывать их нельзя. Аналогичным образом ведут себя и коэффициенты $\lambda_{22}, \lambda_{33}, \mu_{22}, \mu_{33}$.

Исследование влияния изменения расстояния на коэффициенты присоединенных масс и демпфирования при последовательном расположении судов проводилось на примере лихтеровоза «Алексей Косыгин» ($L=232$ м , $V=32$ м, $T=10,6$ м, $\delta=0,616$) и сухогруза «Новгород» ($L=138$ м , $V=20,6$ м , $T=9$ м, $\delta=0,68$). Расстояние между кормой первого судна и носовой частью второго принималось равным $d=15,30,45$ и 60 м. Характерные результаты расчетов присоединенных масс приведены на рис.7, коэффициентов демпфирования на рис.8.

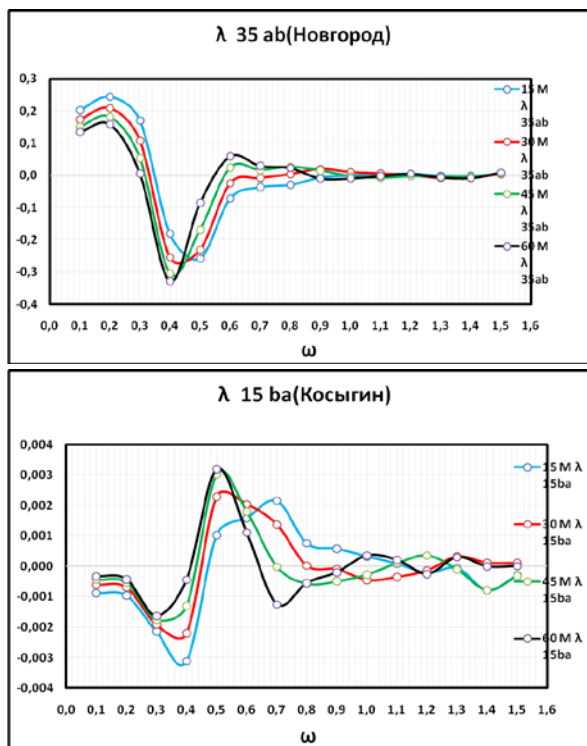
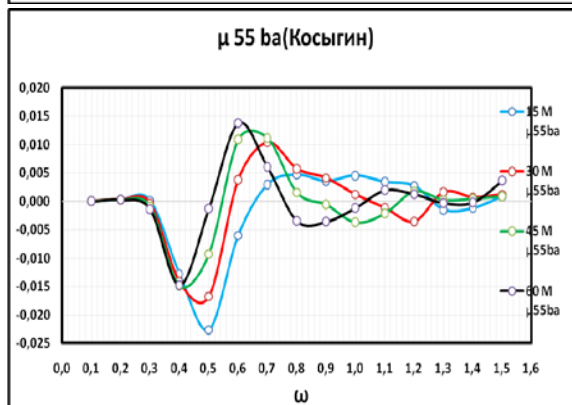
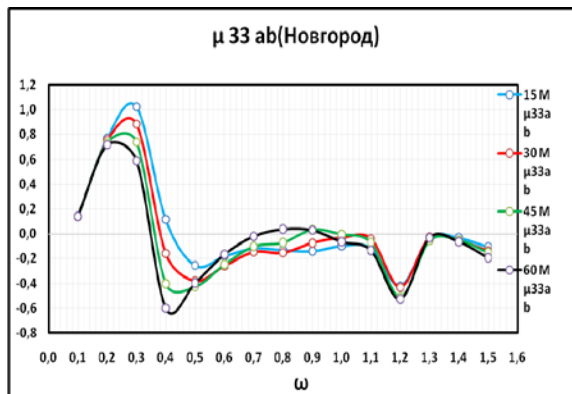
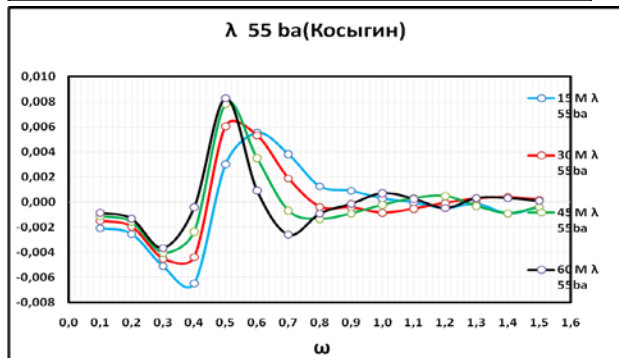
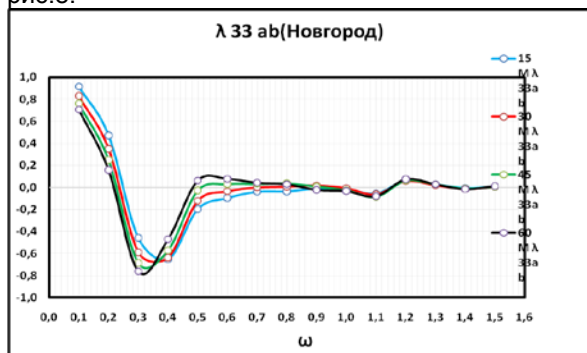


Рис. 7. Значения коэффициентов присоединенных масс, возникающих при совместной качке лихтеровоза Алексей Косыгин и сухогруза Новгород при изменении расстояния.



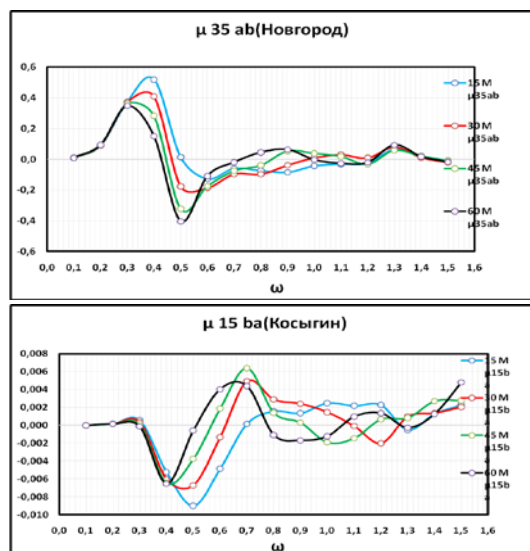


Рис. 8. Значения коэффициентов демпфирования, возникающих при совместной качке лихтеровоза Алексей Косыгин и сухогруза Новгород при изменении расстояния

Проведенный анализ расчетов гидродинамических коэффициентов при последовательном расположении судов показал, что изменение расстояния между судами не влияет на собственные коэффициенты присоединенных масс и демпфирования $\lambda_{ijaa}, \lambda_{ijbb}, \mu_{ijaa}, \mu_{ijbb}$. От изменения расстояния зависят только коэффициенты взаимодействия $\lambda_{ijab}, \lambda_{ijba}, \mu_{ijab}, \mu_{ijba}$.

Уменьшение расстояния между последовательно расположенными судами также приводит к увеличению значений данных коэффициентов по абсолютному значению и к некоторому сдвигу их максимальных значений в область высоких частот.

Таким образом, полученные результаты показывают необходимость учета всех без исключения гидродинамических коэффициентов присоединенных масс и демпфирования при расчетах совместной поперечной и продольной качки.

Литература

1. Бородай И.К., Нецветаев Ю.А. Качка судов на морском волнении. Ленинград, «Судоостроение», 1969.
2. Семенова В.Ю., Тан Хтун Аунг (2010). Определение амплитуд качки судна в условиях мелководья на основании трехмерной теории. Журнал Фундаментальная и прикладная ГИДРОФИЗИКА, N2 (8)
3. Со Мое Аунг, Семенова В.Ю. (2012). Исследование влияния вертикальной стенки на гидродинамические характеристики судна при его качке на мелководье. Морские интеллектуальные технологии N 3 (17), стр.41-45
4. Oortmerssen G, (1979). Hydrodynamic interaction between two structures, floating in waves. Proc. 2nd Int.conf on the behavior of off-shore structures, London, pp.339-356.

Reference

1. Boroday I.K., Netsvetaev Yu.A. Kachka sudov na morskome volnenii. Leningrad, «Sudo-stroenie», 1969.
2. Semenova V.Yu., Tan Khtun Aung (2010) Opredelenie amplitud kachki sudna v usloviyakh melkovod'ya na osnovanii trekhmernoy teorii Zhurnal Fundamental'naya i prikladnaya GIDRO-FIZIKA, N2 (8)
3. So Moe Aung, Semenova V.Yu. (2012) Issledovanie vliyaniya vertikal'noy stenki na gidrodinamicheskie kharakteristiki sudna pri ego kachke na melkovod'e. Morskie intellektual'nye tekhnologii N 3 (17), pp.41-45
4. Oortmerssen G, (1979). Hydrodynamic interaction between two structures, floating in waves. Proc. 2nd Int.conf on the behavior of off-shore structures, London, pp.339-356.

УДК 629.12.073.243.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СИЛ ВТОРОГО ПОРЯДКА, ОБУСЛОВЛЕННЫХ РАЗНОСТЬЮ ЧАСТОТ ПРИ ДИФФРАКЦИИ ВОЛНЕНИЯ ОТ НЕПОДВИЖНОГО КОНТУРА

Семенова Виктория Юрьевна

Д.т.н., профессор, профессор кафедры теории корабля
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 10
тел. 8-905-229-71-98; e-mail: sem_viktoria@mail.ru

Киав Тхура

Аспирант
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 10
тел.8-904-6126-61-68; e-mail: ktra29188@gmail.com

Аннотация

В статье рассматривается метод расчета нелинейных дифракционных сил второго порядка, обусловленных разностью частот. Возникновение данных сил обусловлено воздействием нерегулярного волнения на неподвижные объекты. Используемый расчетный метод представляет собой комбинированный метод интегральных уравнений Гельмгольца. При этом авторами осуществляется точный учет нелинейного граничного условия на свободной поверхности жидкости. Результаты расчетов, полученные авторами, сопоставляются с результатами расчетов, полученными по другому методу. Показано убедительное согласование результатов между собой. Приводятся результаты исследования влияния на нелинейные силы геометрических параметров контуров, таких как коэффициента полноты и отношения осадки к полуширине. Показано значительное увеличение нелинейных вертикальных сил при уменьшении коэффициента полноты и отношения осадки к полуширине и горизонтальных сил при увеличении коэффициента полноты и отношения осадки к полуширине. Делается вывод о необходимости учета рассматриваемой категории нелинейных сил в диапазоне низких частот.

Ключевые слова : нелинейные силы второго порядка, метод интегральных уравнений, дифракция волнения, условие на свободной поверхности, разность частот.

THE DETERMINATION OF NONLINEAR FORCES OF THE SECOND ORDER DUE TO THE DIFFERENCE OF FREQUENCIES DURING THE DIFFRACTION OF THE WAVES FROM A FIXED TWO- DIMENSIONAL BODY

Semenova Viktoriya Yur'evna

Dr.Sci.Tech., the professor, the professor of DEPARTMENT OF THEORY OF THE SHIP ,
STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation
tel: +7 (905) 229-71-98 e-mail: sem_viktoria@mail.ru

Kyaw Thura

post-graduate student
STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation
tel:+7(904)612-61-68 e-mail:ktra29188@gmail.com

Abstract

The article deals with the method of calculation of non-linear second-order diffraction forces due to the difference of frequencies. The emergence of these forces is due to the influence of irregular waves on stationary objects. The calculation method used is a combined method of Helmholtz integral equations. At the same authors carried out an accurate account of non-linear boundary condition at the free surface of the liquid. The calculation results obtained by the authors, are compared with the calculation results obtained by another method. Shown convincing correlation of results between them. The results of the study of the influence of the geometric parameters on nonlinear forces, such as the coefficient of sectional area and the ratio of the draft to half-beam are presented. Obtained results show a significant increasing of nonlinear vertical forces with the decreasing of the sectional area's coefficient and the ratio of the draft to half-beam and increasing of nonlinear horizontal forces with the increasing of the sectional area's coefficient and the ratio of the draft to half-beam depth. The conclusion about the necessity of taking into account the considered category of nonlinear forces in the low frequency range is made.

Key words: nonlinear forces of the second order, method of integral equations, the diffraction of the waves, non-linear boundary condition at the free surface of the liquid, the difference of frequencies

Введение

Нелинейные силы, обусловленные разностью частот, возникают в условиях реального волнения, носящего нерегулярный случайный характер. Несмотря на небольшую величину по сравнению с силами первого порядка, данные силы способны вызывать длиннопериодные колебания систем заякорения вследствие малых значений коэффициентов демпфирования со стороны жидкости при низких частотах.

Определение нелинейных сил, обусловленных разностью частот проводилось в работах Newman, Ogawa, Kyozuka, Pinkster, Faltinsen, Loken и др. В большинстве из них данная задача решалась либо без учета потенциалов второго порядка либо при приближенном учете нелинейного граничного условия на свободной поверхности жидкости. В работе Kyozuka [3] решение построено также с приближенным учетом нелинейных граничных условий на свободной поверхности. Результаты данной работы, а также работ Faltinsen и Loken показали, что при увеличении разности между значениями частот влияние потенциала второго порядка возрастает и им пренебрегать нельзя.

В настоящей работе рассматривается метод определения данных сил, возникающих при дифракции бихроматического волнения от неподвижных шпангоутных контуров с учетом потенциалов второго порядка при точном учете нелинейного граничного условия на свободной поверхности жидкости.

1. Описание метода расчета

Пусть на неподвижный контур произвольной формы, находящийся в жидкости бесконечной глубины, набегают система двух регулярных волн. Потенциал скорости движения жидкости, в соответствии с методом малого параметра, будет иметь вид:

$$\Phi(x, y, t) = \varepsilon(\varphi_{01}^{(1)} + \varphi_{71}^{(1)})e^{-j\omega_1 t} + \varepsilon(\varphi_{02}^{(1)} + \varphi_{72}^{(1)})e^{-j\omega_2 t} + \varepsilon^2(\varphi_0^{(2)}e^{-j(\omega_1 - \omega_2)t} + \varphi_1^{(2)}e^{-j2\omega_1 t} + \varphi_2^{(2)}e^{-j2\omega_2 t} + \varphi_3^{(2)}e^{-j(\omega_1 + \omega_2)t} + \varphi_4^{(2)}e^{-j(\omega_1 + \omega_2)t}),$$

1) где

$\varepsilon = \frac{a_w}{b}$ - малый параметр, характеризующий

порядок малости амплитуд волнового движения жидкости, b - полу-ширина контура, a_w - ордината волны;

$\varphi_{0i}^{(1)}, \varphi_0^{(2)}$ - потенциалы набегающего волнения первого и второго порядков:

$$\varphi_{0i}^{(1)} = j \frac{g}{\omega_i} a_{wi} \tilde{\varphi}_{0i}^{(1)};$$

$$\tilde{\varphi}_{0i}^{(1)} = j e^{K_i y} (\cos K_i x + j \sin K_i x),$$

$$K_i = \frac{\omega_i^2}{g}$$

(2)

$$\varphi_0^{(2)} = -\omega_1 a_{w1} a_{w2} e^{(K_1 - K_2)y} \cdot (\cos(K_1 - K_2)x + j \sin(K_1 - K_2)x).$$

(3)

$\varphi_{7i}^{(1)}$ - дифракционные потенциалы первого порядка, определяемые согласно методу [1].

$$\varphi_{7i}^{(1)} = j \frac{g}{\omega_i} a_{wi} \tilde{\varphi}_{7i}^{(1)};$$

$$\tilde{\varphi}_{7i}^{(1)} = \tilde{\varphi}_{7Si}^{(1)} + \tilde{\varphi}_{7Ai}^{(1)};$$

$\tilde{\varphi}_{7Si}^{(1)}, \tilde{\varphi}_{7Ai}^{(1)}$ - симметричная и асимметричная составляющие дифракционного потенциала первого порядка

$\varphi_1^{(2)}, \varphi_2^{(2)}$ - потенциалы второго порядка, обусловленные удвоенными значениями соответствующих частот. Метод их определения изложен в [1].

Неизвестные потенциалы $\varphi_3^{(2)}$, обусловленные разностью частот ω_1 и ω_2 , должны удовлетворять следующим граничным условиям:

1. уравнению Лапласа;
2. граничному условию на свободной поверхности:

$$\frac{\partial \varphi_3^{(2)}}{\partial y} - K_3 \varphi_3^{(2)} = h_3(x);, \quad (4)$$

$$K_3 = \frac{(\omega_1 - \omega_2)^2}{g};$$

$$h_3(x) = -\frac{j\omega_1}{2g} \left\{ (\varphi_{01}^{(1)} + \varphi_{71}^{(1)}) \left(\frac{\partial^2 \bar{\varphi}_{72}^{(1)}}{\partial y^2} - K_2 \frac{\partial \bar{\varphi}_{72}^{(1)}}{\partial y} \right) \right\} + \frac{j\omega_2}{2g} \left\{ (\bar{\varphi}_{02}^{(1)} + \bar{\varphi}_{72}^{(1)}) \left(\frac{\partial^2 \varphi_{71}^{(1)}}{\partial y^2} - K_1 \frac{\partial \varphi_{71}^{(1)}}{\partial y} \right) \right\} +$$

$$+ \frac{j(\omega_1 - \omega_2)}{g} \left(\frac{\partial(\varphi_{01}^{(1)} + \varphi_{71}^{(1)})}{\partial x} \frac{\partial(\bar{\varphi}_{02}^{(1)} + \bar{\varphi}_{72}^{(1)})}{\partial x} + \frac{\partial(\varphi_{01}^{(1)} + \varphi_{71}^{(1)})}{\partial y} \frac{\partial(\bar{\varphi}_{02}^{(1)} + \bar{\varphi}_{72}^{(1)})}{\partial y} \right); \quad (5)$$

- 3) граничному условию на контуре:

$$\frac{\partial \varphi_3^{(2)}}{\partial n} = -\frac{\partial \varphi_0^{(2)}}{\partial n}, \quad (6)$$

а также принципу излучения и условию на бесконечной глубине.

В соответствии с представлением потенциалов набегающего и дифрагированного волнения первого порядка в виде суммы симметричной и асимметричной составляющих, искомые потенциалы $\varphi_3^{(2)}$ могут быть представлены аналогичным образом :

$$\varphi_3^{(2)} = \varphi_{3S}^{(2)} + \varphi_{3A}^{(2)} \quad (7)$$

Для определения каждой из составляющих выражения (7) используется комбинированный метод интегральных уравнений Гельмгольца [4], основанный на введении следующих комбинаций:

$$\begin{aligned} \varphi_{3S}^{(2)} &= \varphi_{3S1} + \varphi_{3S2}; \\ \varphi_{3A}^{(2)} &= \varphi_{3A1} + \varphi_{3A2}, \end{aligned} \quad (8)$$

где потенциалы $\varphi_{3S,A1}$ учитывают граничное условие на свободной поверхности, а $\varphi_{3S,A2}$ - на контуре.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi_{3S2}}{\partial n} &= -\frac{\partial \varphi_{0S}^{(2)}}{\partial n} - \frac{\partial \varphi_{3S1}}{\partial n}; \\ \frac{\partial \varphi_{3A2}}{\partial n} &= -\frac{\partial \varphi_{0A}^{(2)}}{\partial n} - \frac{\partial \varphi_{3A1}}{\partial n} \end{aligned} \quad (9)$$

Для определения функций $\varphi_{3S1}, \varphi_{3A1}$ используется модифицированный метод Вехаузена-Лайтона [5], согласно которому:

$$\begin{aligned} \varphi_{3S,A1} + i\tilde{\varphi}_{3S,A1} &= \frac{(\text{Re} A_{kS,A} + j \text{Im} A_{kS,A})}{K' - K_k} [e^{jK'x} + ije^{jK'x}] \\ &- j \frac{(\text{Re} A_{kS,A} + j \text{Im} A_{kS,A})}{\pi} \left[\frac{e^{iK'z} E_1(iK'z)}{K' + K_k} + \frac{e^{-iK'z} E_1(-iK'z)}{K' - K_k} \right] + \\ &+ 2i \int_x^\infty h_{2kS,A} e^{-iK_k(z-l)} dl + \\ &\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^\infty h_{2kS,A} e^{-iK_k(z-l)} E_1(-iK_k(z-l)) dl + \\ &+ (j-i) \int_{-\infty}^\infty h_{2kS,A} e^{-iK_k(z-l)} dl, \end{aligned} \quad (10)$$

где

$$h_{23S,A} = h_{3S,A} - (\text{Re} A_{3S,A} + j \text{Im} A_{3S,A}) \cdot e^{jK'x};$$

$$K' = K_1 - K_2$$

$h_{3S,A}$ — симметричная и асимметричная части функций h_3 из выражения (5); $z=x+iy; E_1$ -

интегрально-показательная функция; $(\text{Re} A_{3S,A} + j \text{Im} A_{3S,A}) \cdot e^{jK'x}$ - пределы правых частей граничного условия на свободной поверхности (5) на бесконечном удалении от контура, представляющие собой осциллирующие функции.

Потенциалы $\varphi_{3S2}, \varphi_{3A2}$ определяются на основании решения следующей системы интегральных уравнений :

$$\begin{aligned} -\varphi_{3S,A2}(x,y) + \frac{1}{2\pi} \int_{-L}^L \varphi_{3S,A2}(\eta,\zeta) \frac{\partial G}{\partial n}(x,y,\eta,\zeta) ds = \\ = \frac{1}{2\pi} \int_{-L}^L \frac{\partial \varphi_{3S,A2}}{\partial n} \cdot G(x,y,\eta,\zeta) ds \end{aligned} \quad (11)$$

где функция Грина имеет вид

$$\begin{aligned} G(x,y,\eta,\zeta) = \text{Re}_i \left\{ \log \left(\frac{\tilde{\zeta} - \zeta^*}{\zeta - \tilde{\zeta}^*} \right) + \right. \\ \left. + 2 \int_0^\infty \frac{e^{-ik(\tilde{\zeta} - \zeta^*)}}{K_3 - k} dk - j2\pi e^{-iK_3(\tilde{\zeta} - \zeta^*)} \right\} \end{aligned} \quad (12)$$

После определения потенциалов второго порядка, давление и действующие на контур силы и момент рассчитываются по следующим формулам :

1) горизонтальная сила

$$F_{H(-)}^{(2)} = -e^{-j(\omega_1 - \omega_2)t} \int_{-L}^L [p_3^{(2)}] y' ds + \Delta F_{H(-)}^{(2)}; \quad (13)$$

3)

2) вертикальная сила

$$F_{V(-)}^{(2)} = e^{-j(\omega_1 - \omega_2)t} \int_{-L}^L [p_3^{(2)}] x' ds; \quad (14)$$

4)

3) момент

$$M_{(-)}^{(2)} = e^{-j(\omega_1 - \omega_2)t} \int_{-L}^L [p_3^{(2)}] (xx' + yy') ds; \quad (15)$$

5)

где

$$\begin{aligned} p_3^{(2)} = -\rho \left(-j(\omega_1 - \omega_2) \varphi_3^{(2)} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial(\varphi_{01}^{(1)} + \varphi_{71}^{(1)})}{\partial x} \frac{\partial(\bar{\varphi}_{02}^{(1)} + \bar{\varphi}_{72}^{(1)})}{\partial x} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{\partial(\varphi_{01}^{(1)} + \varphi_{71}^{(1)})}{\partial y} \frac{\partial(\bar{\varphi}_{02}^{(1)} + \bar{\varphi}_{72}^{(1)})}{\partial y} \right) \right) \end{aligned} \quad (16)$$

(16)

$$\Delta F_{H(-)}^{(2)} = R_+^{(-)} dy - R_-^{(-)} (-dy);$$

$$R_+^{(-)} = -0.5 \rho g \left(-j \frac{\omega_1}{g} (\varphi_{01}^{(1)} + \varphi_{71}^{(1)}) j \frac{\omega_2}{g} (\bar{\varphi}_{02}^{(1)} + \bar{\varphi}_{72}^{(1)}) \right) \Big|_{(b,0)} / dy \cdot e^{-j(\omega_1 - \omega_2)t}$$

$$R_-^{(-)} = -0.5 \rho g \left(-j \frac{\omega_1}{g} (\varphi_{01}^{(1)} + \varphi_{71}^{(1)}) j \frac{\omega_2}{g} (\bar{\varphi}_{02}^{(1)} + \bar{\varphi}_{72}^{(1)}) \right) \Big|_{(-b,0)} / (-dy) \cdot e^{-j(\omega_1 - \omega_2)t}$$

(17)

2. Анализ результатов расчета

На основании изложенного метода были проведены расчеты нелинейных возмущающих сил и моментов для различных типов контуров. На рис.1,2 представлены результаты расчетов нелинейных дифракционных вертикальных и горизонтальных сил, обусловленных разностью частот, действующих на круглый контур в сопоставлении с расчетами Куозука [3]. Из сопоставления данных видно их хорошее согласование.

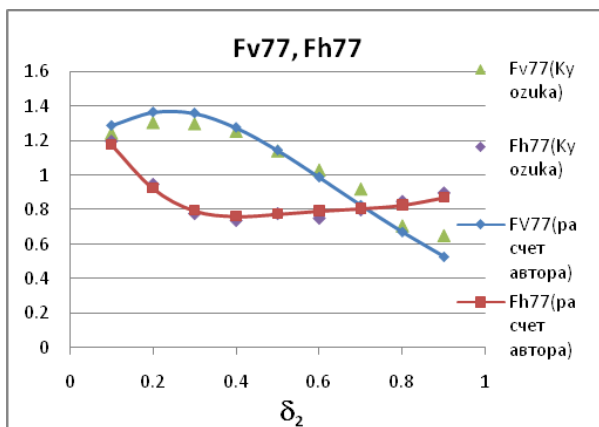


Рис.1 Значения нелинейных вертикальных и горизонтальных сил для круглого контура. Сравнения расчетов.

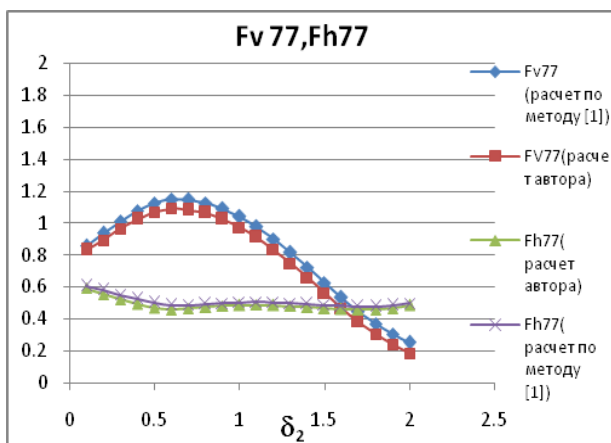


Рис.2 Значения нелинейных вертикальных и горизонтальных сил для шпангоутного контура (T/b=0.6, beta=0.7). Сравнения расчетов по разным методам.

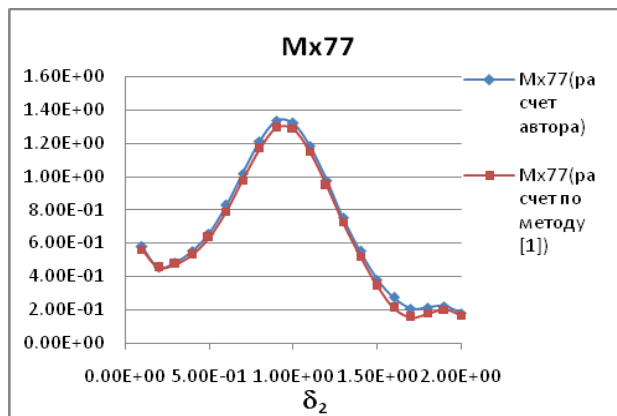
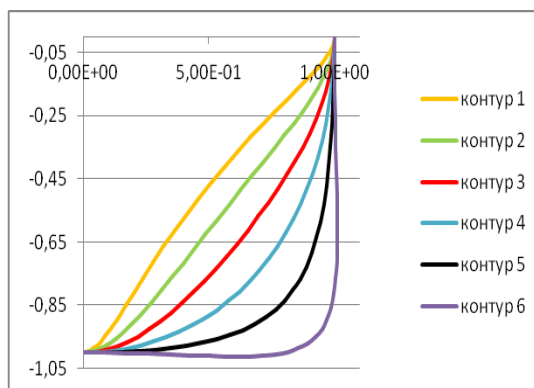


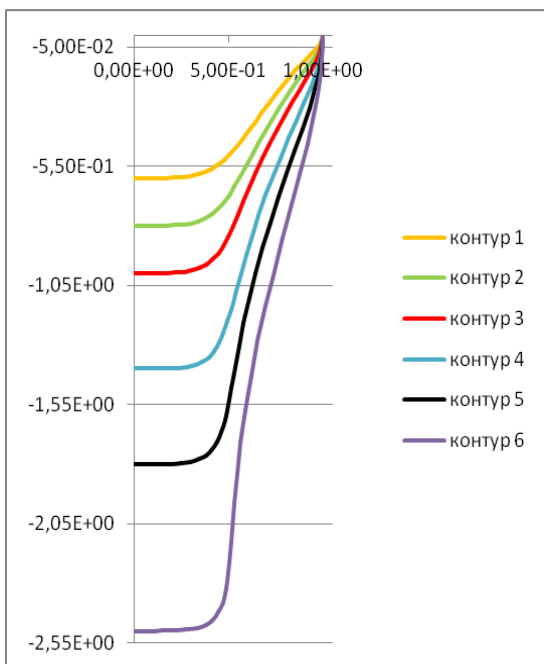
Рис.3 Значения нелинейных моментов сил для шпангоутного контура (T/b=2.5, beta=0.9). Сравнения расчетов по разным методам

Проведенное сравнение расчетов по изложенному методу с расчетами по методу [2] для разных контуров также показывает практически полное совпадение результатов (рис.2,3). Из приведенных результатов видно, что нелинейные силы, обусловленные разностью частот, имеют максимальные значения в области безразмерных волновых чисел $\delta_2 < 1.5$, что приводит к необходимости их учета. При больших значениях безразмерных частот уменьшение величины K_1-K_2 приводит к уменьшению амплитудных значений сил.

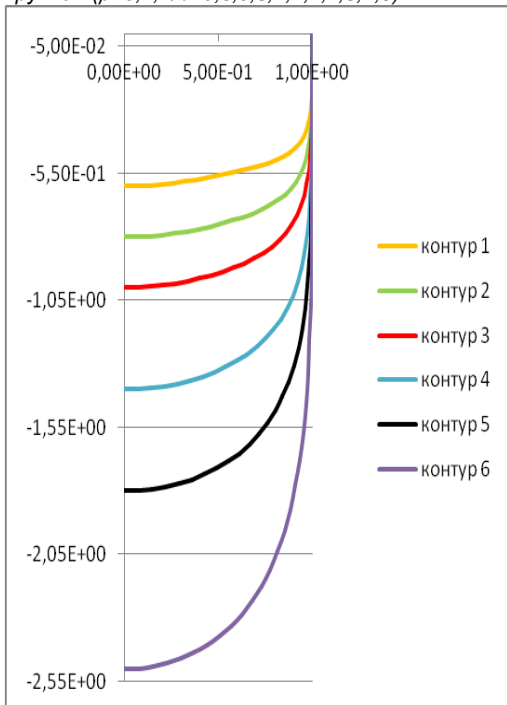
В целях исследования влияния геометрических параметров контуров, таких как отношение осадки к полуширине и коэффициента полноты, на значения нелинейных дифракционных сил и моментов были произведены расчеты для трех групп контуров, представленных на рис.4. В первой группе при одинаковом отношении T/b=1 коэффициент полноты площади β принимает значения 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 и т.д. Во второй и третьей группах при постоянных коэффициентах полноты $\beta=0.7$ и 0.9 соответственно, значения отношения T/b принимались равными 0.6, 0.8, 1, 1.4, 1.8, 2.5



Группа 1 (T/b=1; beta=0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1)



Группа2 ($\beta=0,7; T/b=0,6; 0,8; 1; 1,4; 1,8; 2,5$)



Группа3 ($\beta=0,9; T/b=0,6; 0,8; 1; 1,4; 1,8; 2,5$)

Рис.4 Расчетные группы контуров

Расчеты проводились при $\delta_1=2,01$ и изменении δ_2 от 0.1 до 2. Здесь

$$\delta_1 = K_1 b; \quad \delta_2 = K_2 b.$$

Характерные результаты расчетов нелинейных сил и моментов при изменении коэффициента полноты приведены на рис.5-7

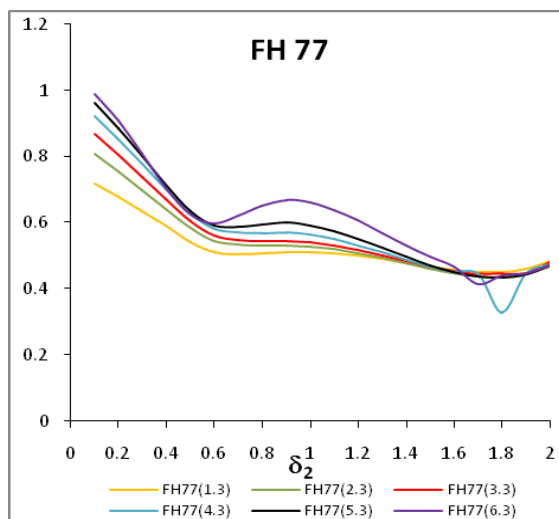


Рис.5 Значения нелинейных горизонтальных сил в зависимости от изменения коэффициента полноты контура.

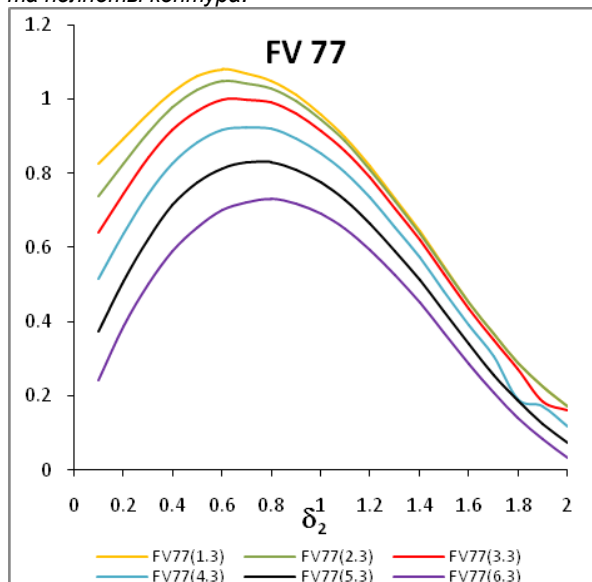


Рис.6 Значения вертикальных нелинейных сил в зависимости от изменения коэффициента полноты контура.

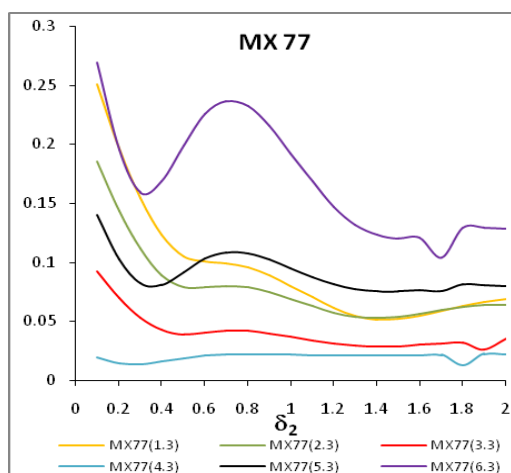


Рис.7 Значения нелинейных дифракционных моментов в зависимости от изменения коэффициента полноты контура.

Анализ полученных результатов показал, что значения нелинейных вертикальных сил возрастают на всем диапазоне частот при уменьшении коэффициента полноты, достигая наибольших значений для треугольного контура (рис.6). Нелинейные горизонтальные силы, наоборот, принимают наибольшие значения при увеличении коэффициента полноты (рис.5).

Нелинейные дифракционные моменты уменьшаются при изменении коэффициента полноты от 0.5 до 0.7, затем, при изменении β от 0.8 до 1 возрастают и достигают максимальных значений для прямоугольных форм контуров, соответствующим понтонным сооружениям. Минимальные значения моментов наблюдаются для контуров, форма которых близка к круглой (рис.7)

На рисунках 8-10 приведены результаты расчетов нелинейных сил в зависимости от изменения отношения осадки к полуширине контура.

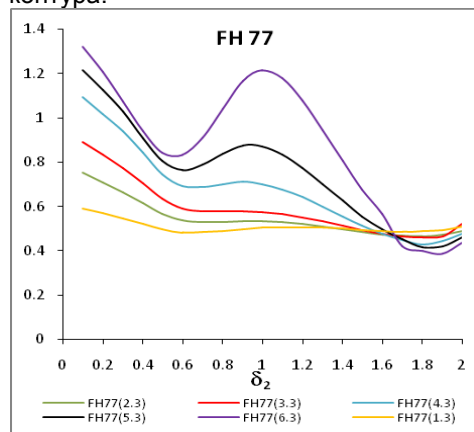


Рис.8 Значения нелинейных горизонтальных сил в зависимости от изменения отношения T/b для контуров группы 2.

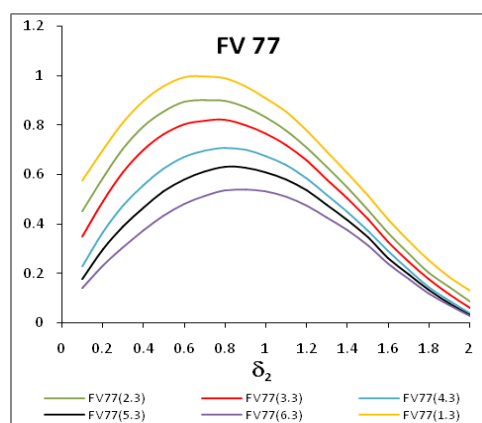


Рис.9 Значения нелинейных вертикальных сил в зависимости от изменения отношения T/b для контуров группы 3.

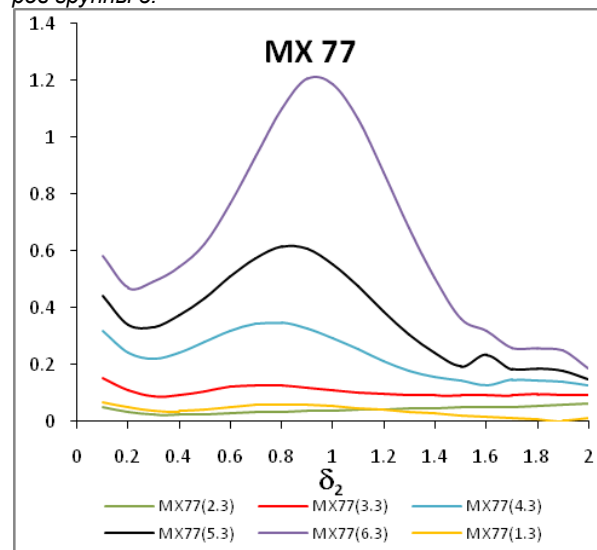


Рис.10 Значения нелинейных моментов в зависимости от изменения отношения T/b для контуров группы 3.

Исследование влияния отношения осадки к полуширине показало, что вертикальные нелинейные силы увеличиваются при уменьшении T/b (рис.9). Горизонтальные силы и моменты, наоборот, увеличиваются при увеличении отношения T/b (рис.8,10).

Таким образом, наибольшие значения нелинейных вертикальных сил, обусловленных разностью частот, будут иметь место для треугольных контуров с отношением $T/b < 0,6$. Наибольшие значения нелинейных горизонтальных сил и моментов возможны для прямоугольных контуров с отношением $T/b > 2,5$.

Все полученные результаты показывают на необходимость учета нелинейных сил, обусловленных разностью частот, при их воздействии на суда и другие морские объекты.

Литература

1. Семенова В.Ю. "Разработка метода расчета нелинейной качки судов". Дисс. на соискание уч. степени д.т.н. СПбГМТУ 2005г.
2. Семенова В.Ю. (2007) Расчет нелинейных сил второго порядка, обусловленных суммой и разностью частот и возникающих при дифракции нерегулярного волнения от шпангоутного контура. Журнал Морской Вестник N3 (6), стр.43-47

3. Kyoziuka Y.(1988) Second-order Wave Forces Acting on a Horizontal Circular Cylinder in Irregular Waves. Nonlinear Water Waves IUTAM Symposium Tokyo/Japan 1987, Springer-Verlag Berlin Heidelberg pp.261-273.
4. Papanikolaou A.(1988) On the solution of the quasi-third order problem of two-dimensional cylinders in Forced –Motion . Journal of the Kansai society of Naval Architecture of Japan N 210, pp.121-133.
5. Wehausen J.V., Laitone E.V.(1960) Surface waves. Encyclopedia of Physics. Berlin, Springer-Verlag, v.9, p.446-778

Reference

1. Semenova V.Yu. “Razrabotka metoda rascheta nelineynoy kachki sudov”. Diss. na soiskanie uch. stepeni d.t.n. SPbGMTU 2005g.
2. Semenova V.Yu.(2007) Raschet nelineynykh sil vtorogo poryadka, obuslovlennykh sum-moy i raznost'yu chastot i voznikayushchikh pri difraktsii neregulyarnogo volneniya ot shpangoutnogo kontura. Zhurnal Mor-skoy Vestnik N3 (6),pp.43-47
3. Kyoziuka Y.(1988) Second-order Wave Forces Acting on a Horizontal Circular Cylinder in Irregular Waves. Nonlinear Water Waves IUTAM Symposium Tokyo/Japan 1987, Springer-Verlag Berlin Heidelberg pp.261-273
4. Papanikolaou A.(1988) On the solution of the quasi-third order problem of two-dimensional cylinders in Forced –Motion. Journal of the Kansai society of Naval Architecture of Japan N 210, pp.121-133.
5. Wehausen J.V., Laitone E.V.(1960) Surface waves. Encyclopedia of Physics. Berlin, Springer-

УДК 62 613

ТЕХНОЛОГИИ СНИЖЕНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Серажутдинов Омар Владимирович

Старший преподаватель кафедры экологии промышленных зон и акваторий
Санкт-Петербургского государственного морского технического университета
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская 3
тел. 494-09-03, e-mail: serazhutdinov@mail.ru

Чистяков Вячеслав Александрович

кандидат технических наук, Профессор кафедры судовых энергетических установок, систем и оборудования

Санкт-Петербургского государственного морского технического университета
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская 3

Аннотация

Снижение токсичности отработавших газов (ОГ) судовых двигателей внутреннего сгорания представляет собой сложную научно-техническую задачу. Необходимость ее решения диктуется нормативно-законодательными требованиями, которые становятся все более жесткими. Приведение в соответствие этим нормам токсичности ОГ вынуждает снижать экономические и энергетические показатели дизеля. Все дело в том, что трудности обеспечения экологической безопасности ДВС связаны с селективностью компонентов отработавших газов. Иначе говоря, способы снижения токсичности дифференцированы по отношению к вредным компонентам. В данной работе рассмотрены методы уменьшения выбросов оксидов азота с отработавшими газами судовых дизелей. Отмечено, что мере ужесточения требований к уровню содержания оксидов азота существующие и промышленно освоенные технологии становятся все более сложными из-за соответствующей модернизации. В результате эти технологии становятся малоэффективными, что вынуждает изыскивать новые способы очистки отработавших газов.

Ключевые слова: судовые дизеля; оксид азота; отработавшие газы; токсичность; отдельный впрыск; экологичность.

TECHNOLOGIES OF REDUCTION OF NITROGEN OXIDES THE EXHAUST GASES OF MARINE DIESEL ENGINES

Serazhutdinov Omar Vladimirovich

The teacher of department of ecology of industrial areas and areas,
State marine technical university of Saint-Petersburg
Lotsmanskaya 3, St.Petersburg 190008, Russian Federation
tel. 494-09-03, e-mail: serazhutdinov@mail.ru

Chistyakov Vyacheslav Aleksandrovich

PhD, Professor of department of ship power plants, systems and equipment
State marine technical university of Saint-Petersburg
Lotsmanskaya 3, St.Petersburg 190008, Russian Federation

Abstract

Reducing the toxicity of exhaust gases of marine internal combustion engines is a difficult technical task. The necessity of its solution is dictated by the normative and legal requirements, which are becoming more stringent. Compliance with these standards emission standard forces to reduce economic and energy on the performance of diesel. The thing is that the challenges of environmental security engine associated with the selectivity of the components of the exhaust gases. In other words, methods of reducing toxicity differentiated with respect to harmful components. In this article methods of reducing emissions of nitrogen oxides from the exhaust gases of marine diesel engines. It is noted that as the stringency level of oxides of nitrogen existing and industrial development-military technology is becoming more complex because of the appropriate upgrades. As a result, these technologies become ineffective, forcing you to find new ways to purify exhaust gases.

Keywords: marine diesel engine; nitric oxide; exhaust gases; toxicity; split injection; environmental friendliness

Снижение токсичности отработавших газов (ОГ) судовых двигателей внутреннего сгорания представляет собой сложную научно-техническую задачу. Необходимость ее решения диктуется нормативно-законодательными требованиями, которые становятся все более жесткими. Например, в предлагаемом стандарте IMO Tier-3 предельно допустимое содержание оксидов азота в отработавших газах по сравнению с действующими нормами IMO Tier-2 будет снижено почти в 4 раза. Такое резкое ужесточение нормативов на выбросы загрязняющих атмосферу веществ вызвало резонанс в техническом сообществе, что вынудило законодательные органы отложить введения норм IMO Tier-3 с 2016 г. пока до 2021г.[8]. Даже сегодня выполнение норм IMO Tier-2 зачастую вынуждает снижать экономические и энергетические показатели дизеля. Все дело в том, что трудности обеспечения экологической безопасности ДВС связаны с селективностью компонентов отработавших газов. Иначе говоря, способы снижения токсичности дифференцированы по отношению к вредным компонентам. Например, технологии, направленные на снижение оксидов азота (NO_x), дают обратный эффект по отношению к дымности. Поэтому выбор той или иной технологии улучшения экологичности ДВС всегда сопровождается поиском компромисса между токсичностью, дымностью, топливной экономичностью и затратами на ее реализацию.

Все способы снижения выбросов NO_x принято подразделять на внутренние (первичные) и внешние (вторичные).

К внутренним методам относятся те, в которых снижение вредных выбросов достигается за счет воздействия на внутрицилиндровые процессы. Специфика сгорания топлива в цилиндре двигателя сопряжена с многими факторами, большинство из которых связаны с неоднородностью температурного поля как в объеме камеры сгорания, так и во времени. Вопросам сгорания топлива в цилиндре двигателя посвящено довольно много работ [1, 2, 5]. Их анализ свидетельствует, содержание вредных компонентов и сажи в ОГ главным образом зависит от скорости и температуры горения. С их увеличением количество сажи в отработавших газах уменьшается, а содержание оксидов азота растет.

На процесс сгорания топлива и соответственно на количество токсичных компонентов оказывают влияние параметры топливоподачи: давление впрыска, величина цикловой подачи, угол опережения впрыскивания топлива и закономерность подачи [5]. От давления впрыска зависит тонкость (дисперсность) топливного факела. Мелкодисперсная топливовоздушная смесь

сгорает быстрее и полнее, с лучшими показателями по топливной экономичности и дымности. Однако при этом растет температура и, как следует из предыдущего, увеличивается эмиссия оксидов азота.

Величина цикловой подачи топлива определяет период задержки воспламенения. По опубликованным данным влияние этого параметра на изменение состава ОГ не столь однозначно как в предыдущем случае. Одни авторы утверждают, что эмиссия NO_x и дымность отработавших газов увеличиваются с ростом цикловой подачи, другие приводят данные, согласно которым у высокофорсированных ДВС с большой цикловой подачей происходит снижение выброса оксидов азота при нагрузках, больших 90 % от полной. Во многом данное противоречие обусловлено величиной коэффициента избытка воздуха α . Его значение зависит от режима работы ДВС и может изменяться в достаточно большом диапазоне от 1,3 до 6,2. Зависимость выброса NO_x от α неоднозначна: с одной стороны при увеличении значения α эмиссия NO_x падает, поскольку «лишний» воздух уменьшает температуру горения топлива, а с другой стороны выход оксидов азота увеличивается вследствие интенсификации процесса горения и роста температуры.

На образование NO_x сильное влияние оказывает угол опережения впрыскивания топлива θ . Объясняется это тем, что при уменьшении угла θ снижаются максимальная температура сгорания и время, отводимое на это сгорание. Поэтому с уменьшением θ выход оксидов азота снижается, а выбросы сажи и удельный эффективный расход топлива, как правило, увеличиваются.

Закономерность подачи топлива во многом также предопределяет характер протекания процесса сгорания. Для возможности управления этим процессом применяют многостадийное впрыскивание топлива [9]. При таком впрыскивании всю цикловую подачу разделяют на несколько (чаще 2 и реже 3) порций с небольшим интервалом времени между ними. Особое внимание уделяется первой (запальной) порции топлива, поскольку от ее величины во многом зависит жесткость протекания рабочего процесса. Реализация многостадийной подачи топлива возможна в дизелях, оснащенных топливной аппаратурой аккумуляторного типа с электроуправляемыми форсунками, например, типа Common-Rail с электрогидравлическими форсунками. Опыт эксплуатации дизелей с такой топливной аппаратурой свидетельствует о возможности получения разумного компромисса между выбросами NO_x , дымностью и топливной экономичностью.

Помимо рассмотренных и достаточно известных решений по снижению выбросов NO_x в настоящее время предпринимаются попытки привлекать для достижения этой цели новые методы. Речь идет о реализации цикла Миллера в сочетании с высоким наддувом и оптимизированной системой топливоподачи [7]. Идея цикла Миллера состоит в понижении температуры сгорания за счет более позднего закрытия впускного клапана, что приводит к охлаждению воздуха в результате его расширения. Высокий наддув необходим для того, чтобы избежать потери мощности. Для получения больших значений давлений наддувочного воздуха применяется двухступенчатый наддув.

К новым способам борьбы с оксидами азота можно отнести также метод на основе полимерной мембраны с увлажнением воздуха, разработанной японской фирмой Asahi Kasei Chemicals Corporation [10]. Этот метод обеспечивает снижение выбросов NO_x за счет уменьшения концентрации кислорода во впускном воздухе с помощью специальной мембраны при одновременном его увлажнении. Полимерная мембрана обладает селективной проницаемостью в отношении кислорода и водяного пара. Эффективность ее применения доказана экспериментально. В результате установлено:

- снижение выбросов NO_x до уровня IMO Tier 3 возможно при уменьшении концентрации кислорода в воздухе до уровня 17-17,5 %;
- эффект уменьшения выхода NO_x увеличивается при совместном уменьшении концентрации кислорода и увеличении влажности воздуха;
- расход топлива при работе двигателя с пониженной концентрацией кислорода возрастает примерно на 8 % по сравнению с обычным воздухом, содержащим 21 % кислорода.

Среди других первичных способов, которые позволяют оптимизировать процесс сгорания, отметим еще рециркуляцию ОГ и подачу воды [11]. Выбор именно этих способов объясняется просто: они позволяют весьма доступно и эффективно воздействовать на образование оксидов азота в широком диапазоне.

Рециркуляция отработавших газов (EGR – Exhaust Gas Recirculation) осуществляется посредством перепуска ОГ из коллектора в ресивер, рис.1. Степень рециркуляции называют отношением

$$k_R = \frac{M_R}{M_R + M_B} \cdot 100\%,$$

где M_R , M_B – масса перепускаемого газа и воздуха в цилиндре двигателя.

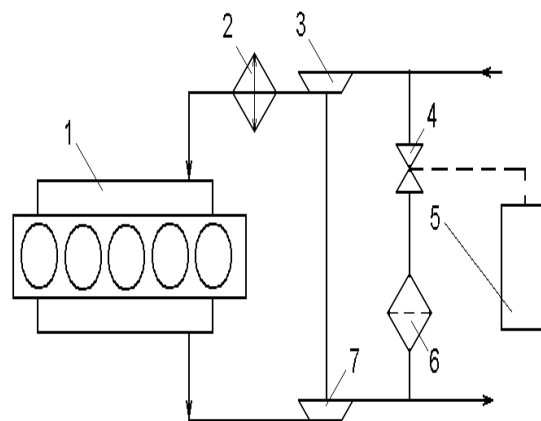


Рис. 1. Принципиальная схема рециркуляции ОГ. 1 – дизель; 2 – охладитель; 3 – компрессор; 4 – клапан; 5 – блок управления; 6 – фильтр; 7 – турбина

Рециркуляция газов замедляет процесс сгорания топлива и, в конечном счете, приводит к резкому уменьшению выбросов NO_x , рис.2.

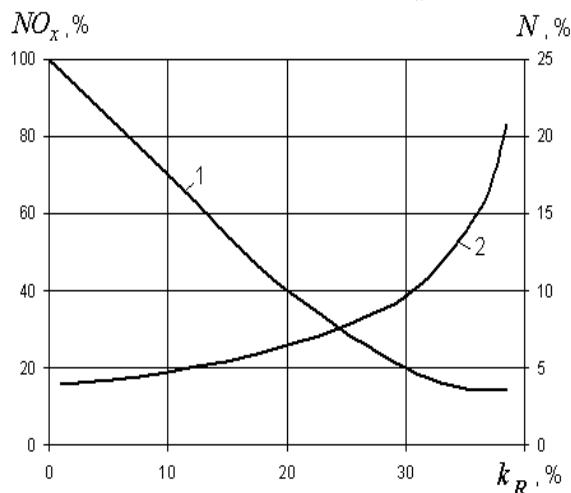


Рис. 2. Выбросы NO_x (1) и дымность ОГ (2) в зависимости от степени рециркуляции

Вместе с уменьшением оксидов азота растет выход сажи и ухудшается топливная экономичность дизеля. Особенно ощутимы эти сопутствующие рециркуляции негативные явления на полных нагрузках. По этой причине перепуск газов экономически оправдан лишь на долевых режимах ДВС и при степени рециркуляции на уровне 12÷20%. Обычно величину k_R оптимизируют путем управления перепускным клапаном в зависимости от нагрузки, частоты вращения, топливной экономичности, концентрации NO_x и дымности ОГ. Основным недостатком рециркуляции газов – твердые частицы, содержащиеся в ОГ, поступая в цилиндр, увеличивают его износ.

Подача воды в камеру сгорания осуществляется либо увлажнением всасываемого воздуха, либо прямым впрыском. В первом случае вода орошает проходящий воздух, а во втором – она

впрыскивается вместе с топливом в виде водотопливной эмульсии (ВТЭ) или осуществляется отдельный впрыск: сначала вода, затем топливо. Однако использование ВТЭ наталкивается на ряд технических трудностей [4]. Главные из них

- получение ВТЭ требуемой дисперсности с размерами частиц воды 1÷2 мкм;
- достижение стабильности ВТЭ;
- появление коррозии и увеличенный износ топливной аппаратуры.

Более перспективным представляется отдельный впрыск воды и топлива через одну форсунку с двумя каналами. На рис. 3 показан распылитель такой форсунки фирмы Wartsila. Впрыск воды достигает 60% от цикловой подачи топлива и варьируется блоком управления. Совмещение в одной форсунке двух каналов позволяет отказаться от дополнительного охлаждения распылителя.

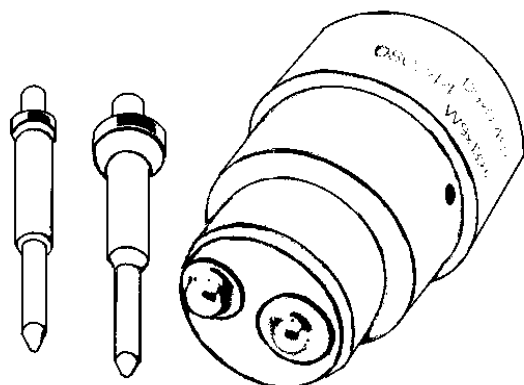
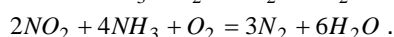
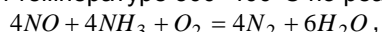


Рис. 3. Распылитель форсунки для отдельного впрыска воды и топлива фирмы Wartsila

При внешних способах снижения токсичности ОГ достигается установка дополнительных технических средств. Принцип действия этих способов основан на окислении или восстановлении токсичных компонентов до безвредных в специальных нейтрализаторах. Применение нейтрализаторов позволяет, не меняя конструкцию двигателя, обеспечить эффективную очистку ОГ.

Наибольшее распространение получили нейтрализаторы восстановительного типа, в которых восстановление оксидов азота, состоящих в основном из NO и NO_2 , осуществляется аммиаком. Данный восстановительный процесс, называемый SCR-процессом (Selective Catalytic Reduction), идет при температуре 300÷400°C по реакциям



Суть SCR-процесса заключается в следующем [3, 11]. Отработавшие газы пропускаются через реактор, содержащий несколько слоев титан-ванадиевых катализаторов. В реактор подается

газообразный аммиак, предварительно разбавленный воздухом до концентрации, при которой исключается опасность взрыва. Перемешивание NH_3 с ОГ происходит до получения однородной смеси в специальном смесителе. Далее смесь газов, проходя через катализатор, подвергается химическому взаимодействию в соответствии с приведенными реакциями. В результате их осуществления получаются безвредные вещества: азот и водяной пар. Объем катализатора, а следовательно, и размеры реактора SCR зависят от химической активности катализатора, требуемой глубины очистки ОГ от NO_x и концентрации NH_3 . Теоретически можно добиться полной нейтрализации NO_x , если строго выдерживать молярные соотношения: $NH_3 : NO_x = 1:1$ и $NH_3 : O_2 = 1:10$. Практически степень подавления NO_x не превышает 95%. При соотношениях NH_3 / NO_x больше указанного значения может быть достигнута более тщательная очистка ОГ, но в этом случае количество непрореагировавшего аммиака растет, что недопустимо, поскольку NH_3 относится к токсичным реагентам.

На рис.4 приведена схема установки SCR-процесса фирмы MAN B&W для двухтактного МОД [11]. Заслуживают внимания следующие особенности этой установки. Во-первых, реактор SCR расположен перед турбокомпрессором. Это вынужденная мера, вызванная необходимостью поддерживать температуру химических реакций в пределах 300-400°C. Для четырехтактных ДВС, имеющих более высокую температуру ОГ, реактор ставят после турбокомпрессора. В техническом отношении последний вариант проще. Во-вторых, реактор байпасирован, т.е. предусмотрены заслонки, посредством которых ОГ можно направлять в реактор или в обход его. Все зависит от того, находится судно в зоне контроля NO_x или не находится. В-третьих, установка SCR компьютеризирована. В ней подача NH_3 автоматизирована. Компьютер в зависимости от расхода ОГ, концентрации NO_x и заданного отношения NH_3 / NO_x рассчитывает необходимое количество аммиака, подаваемого в реактор. Дополнительно предусмотрена обратная связь с контролем концентрации оксидов азота в очищенных газах. В-четвертых, аммиак хранится в сжиженном состоянии при давлении 20 МПа на палубе. Его испарение протекает в испарителе при температуре 70°C. Испаритель подогревается паром. Наконец, в-пятых, размеры реактора SCR очень большие. Если судить по рис. 4, то реактор всего в два раза меньше дизеля.

Основным недостатком восстановительных нейтрализаторов с использованием аммиака является то, что непрореагировавший NH_3 сам является токсичным веществом, которое выбрасывается в атмосферу. Причем чем выше степень очистки ОГ от NO_x , тем больше NH_3 содержится в выпускных газах. В этом случае требуется дополнительная очистка ОГ уже от NH_3 . В настоящее время аммиак заменяют более безвредной мочевиной.

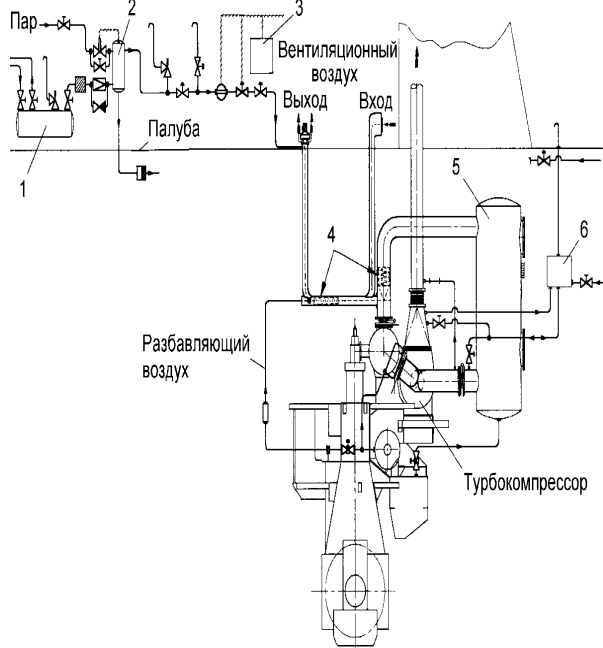
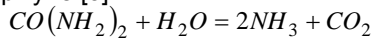


Рис.4. Схема установки SCR-процесса фирмы MAN B&W. 1 – бак с аммиаком; 2 – испаритель; 3 – блок управления NH_3 ; 4 – смесители; 5 – реактор SCR; 6 – газоанализаторы NO_2 и O_2

При использовании мочевины каталитическая реакция протекает в два этапа. Сначала мочевина, попадая в поток горячего газа, реагирует с водой, содержащейся в растворе, разлагаясь при этом на аммиак и диоксид углерода по формуле [3]



Далее идет сам процесс восстановления NO_x по приведенным выше реакциям. Подача мочевины строго регламентируется в соответствии со стехиометрической нормой. Нарушение этой нормы вызывает утечку аммиака за пределы системы. Для поддержания эффективности восстановления NO_x на максимальном уровне существующие системы SCR автоматизированы.

К внешним способам газоочистки следует отнести также предлагаемую специалистами университета Osaka (Япония) технологию с применением холодной плазмы (Nonthermal plasma – NTR) [6]. Данная технология позволяет очищать ОГ судовых дизелей от NO_x и частиц.

Суть NTR сводится к восстановлению оксидов азота в сорбенте с одновременной обработкой их холодной призмой, вырабатываемой генераторами в результате высокоотрабатываемых газов сначала охлаждаются примерно до 45 вольт-разрядов. Система NTR включает в себя следующие компоненты: фильтры, камеру поглощения и собственно NTR-реактор. Удаление NO_x из отработавших газов происходит в результате двух последовательных процессов: адсорбции и десорбции. По сравнению с селективной каталитической очисткой SCR реакции в NTR протекают при сравнительно низкой температуре, около $150^\circ C$. Напомним, для активации катализатора процесса SCR требуется температура более $300^\circ C$.

В упомянутой работе отмечается, что очистка отработавших газов от NO_x с помощью системы NTR обладает высокой эффективностью, что позволяет выполнить экологические требования IMO Tier-3. Система NTR энергозатратная, для обеспечения ее функционирования затрачивается примерно 4,3 % мощности дизеля.

Литература

1. Воинов А.Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях / А.Н.Воинов. – М.: Машиностроение, 1977. – 277 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей. / Д.Н.Вырубов, Н.А.Иващенко, В.И.Ивин и др.; Под ред. А.С.Орлина, М.Г.Круглова. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.
3. Камкин С.В. Эксплуатация судовых дизельных энергетических установок: учебник / С.В. Камкин, И.В. Возницкий, В.Ф. Большаков и др. – М.: Транспорт, 1996. - 432 с.
4. Лерман Е.Ю.Б. Гладков О.А. Высококонтрированные водотопливные эмульсии – эффективное средство улучшения экологических показателей легких быстроходных дизелей // Двигателестроение. – 1986, № 10. – с. 35-37.
5. Марков В.А. Токсичность отработавших газов дизелей / В.А.Марков, Р.М.Баширов, И.И.Габитов – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 376 с.

6. Масаки Окубо и др. Комплексная технология очистки выбросов судового дизеля с использованием холодной плазмы (материалы конгресса CIMAC 2013) // Двигателестроение. – 2014, № 1. – с. 46-56.
7. Мельник Г.В. Технологии снижения вредных выбросов дизелей. Состояние и перспективы развития. По материалам конгресса CIMAC 2010 // Двигателестроение. – 2011, № 4. – с. 48-56.
8. Новиков Л.А. Ограничение выбросов NO_x на уровне IMO TIER-3 для судовых дизелей отложено до 2021 года // Двигателестроение. – 2013, № 2. – с. 26-32.
9. Пахомов Ю.А. Топливо и топливные системы судовых дизелей. / Ю.А. Пахомов, Ю.П.Коробков, Е.В.Дмитриевский, Г.Л.Васильев. – М.: РКонсульт, 2004. – 496 с.
10. Перспективные технологии снижения выбросов NO_x судовых дизелей (материалы конгресса CIMAC 2013) // Двигателестроение. – 2014, № 2. – с. 38-54.
11. Румб В.К. Судовые энергетические установки. Судовые дизельные энергетические установки: учебник / В.К.Румб, Г.В.Яковлев, Г.И.Шаров, В.В.Медведев, М.А. Минасян – СПб.: СПбГМТУ, 2007. 622 с.

References

1. Voinov A.N. Sgoranie v bystrohodnyh porshnevnyh dvigateljah A.N.Voinov. M.: Mashinostroenie, 1977. 277 s.
2. Dvigateli vnutrennego sgoraniya: Teorija porshnevnyh i kombinirovannyh dvigatelej. D.N.Vyubov, N.A.Ivashhenko, V.I.Ivin i dr.; Pod red. A.S.Orlina, M.G.Kruglova. M.: Mashinostroenie, 1983. 372 s.
3. Kamkin S.V. Jekspluatsija sudovyh dizel'nyh jenergeticheskikh ustanovok: uchebnik S.V. Kamkin, I.V. Voznickij, V.F. Bol'shakov i dr. M.: Transport, 1996. 432 s.
4. Lerman E.Ju.B Gladkov O.A. Vysokokoncentrirovannyye vodotoplivnyye jemul'sii jeffektivnoe sredstvo uluchsheniya jekologicheskikh pokazatelej legkih bystro-hodnyh dizelej Dvigatel'stroenie. 1986, № 10. s. 35-37.
5. Markov V.A. Toksichnost' otrabotavshih gazov dizelej V.A.Markov, R.M.Bashirov, I.I.Gabitov M.: Izd-vo MGTU im. N.Je. Bauman, 2002. 376 s.
6. Masaki Okubo i dr. Kompleksnaja tehnologija ochistki vybrosov sudovogo di-zelja s ispol'zovanie holodnoj plazmy (materialy kongressa CIMAC 2013) Dvigatelle-stroenie. 2014, № 1. s. 46-56.
7. Mel'nik G.V. Tehnologii snizheniya vrednyh vybrosov dizelej. Sostojanie i perspektivy razvitija. Po materialam kongressa CIMAC 2010 Dvigatellestroenie. 2011, № 4. s. 48-56.
8. Novikov L.A. Ogranichenie vybrosov na urovne IMO TIER-3 dlja sudo-vyh dizelej otlozhenno do 2021 goda Dvigatellestroenie. 2013, № 2. s. 26-32.
9. Pahomov Ju.A. Toplivo i toplivnyye sistemy sudovyh dizelej. Ju.A. Pahomov, Ju.P.Korobkov, E.V.Dmitrievskij, G.L.Vasil'ev. M.: RKonsul't, 2004. 496 s.
10. Perspektivnyye tehnologii snizheniya vybrosov sudovyh dizelej (ma-terialy kongressa CIMAC 2013) Dvigatellestroenie. 2014, № 2. s. 38-54.
12. Rumb V.K. Sudovye jenergeticheskie ustanovki. Sudovye dizel'nye jenergeti-cheskie ustanovki: uchebnik V.K.Rumb, G.V.Jakovlev, G.I.Sharov, V.V.Medvedev, M.A. Mina-sjan SPb.: SPbGMTU, 2007. 622 s.

УДК 531.14

Расчет движения спасательного модуля с пневматической тягой

Сергеев Максимильян Сергеевич

аспирант кафедры теплофизических основ судовой энергетики
Санкт – Петербургский государственный морской технический университет
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3
e-mail: mart_iden@inbox.ru

Аннотация

Целью настоящей работы является рассмотрение особенностей реактивного движения спасательного модуля по поверхности ледового покрова. Данный спасательный модуль предназначен для эвакуации рабочего персонала с арктических буровых платформ в случае чрезвычайного происшествия. Конструкция спасательного модуля предусматривает в качестве движителей баллоны со сжатым под большим давлением газом. Скорость и массовый расход вытекающего из баллонов газа были определены для надкритического режима истечения. На основании уравнений термодинамики и механики тел переменной массы получены интегралы уравнения движения спасательного модуля. Приведены графики изменения основных характеристик движения в зависимости от времени. Выполненный расчет движения спасательного модуля с пневматическим движителем показал, что этот модуль проходит значительное расстояние, которое зависит от давления газа в баллонах, их объемов и диаметров сопел.

Ключевые слова: спасательный модуль, реактивная сила, давление газа, плотность, истечение, скорость, ускорение.

Motion computation of the emergency quarters with a pneumatic draft

Sergeev Maksimilyan Sergeevich

aspirant kafedryi teplofizicheskikh osnov sudovoy energetiki
Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj morskoy texnicheskij universitet
190008, Sankt-Peterburg, ul. Locmanskaya, 3
e-mail: mart_iden@inbox.ru

Abstract

The purpose of this article is reviewing the special aspect of the reaction motion of the emergency quarters on the surface of the sheet ice. This emergency quarter is used to evacuation from the arctic boring platform in the case of emergency. The construction of the emergency quarters includes compressed gas balloons with high pressure (as mover). Velocity and mass flow of the effluent gas (of balloons) have been identified for the supercriticality of gas outflow. Integrals of the motion equation of the emergency quarters have been received based on the equations of thermodynamics and mechanics of bodies of variable-mass. Graphs (the type is scatter with smooth lines) of the basic characteristics of motion with time listed in the article. The motion computation of the emergency quarters with a pneumatic mover showed module get over a considerable distance. This distance depends on the gas pressure in balloons, their volumes and nozzle diameters.

Key words: emergency quarters, repulsive force, gas pressure, density, effusion, velocity, acceleration.

Конструкция спасательного модуля предусматривает в качестве движителей баллоны со сжатым под большим давлением газом [1]. Опираясь на уравнение механики тел переменной массы (уравнение Мещерского) [2], уравнения баланса массы и энергии при адиабатном течении газа [3], можно получить уравнение движения спасательного модуля и рассчитать характеристики этого движения.

Характер истечения газа в атмосферу зависит от значения параметра давления [3]:

$$\beta = \frac{p_a}{p}, \quad 0 < \beta \leq 1, \quad (1)$$

где p_a - атмосферное давление, p - давление в баллоне.

В начальный момент времени, когда $p = p_0$, величина β мала. По мере истечения величина β увеличивается, истечение заканчивается, ко-

гда эта величина становится равной $\beta = 1$. Существуют два режима истечения – надкритический и докритический - которые зависят от соотношения между величиной β и критическим значением параметра давления, которое является функцией показателя адиабаты k [5]:

$$\beta_{\text{кр}} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (2)$$

Поскольку для воздуха как двухатомного газа $k = 1,4$, тогда величина $\beta_{\text{кр}} = 0,528$.

Расход G и скорость истечения газа w для надкритического режима $\beta \leq \beta_{\text{кр}}$ определяются следующими формулами [3]:

$$G = c_d \cdot F \cdot \sqrt{\kappa p \rho} \cdot \sqrt{\left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}}}, \quad (3)$$

$$w = \sqrt{\left(\frac{2\kappa}{\kappa+1}\right) \frac{p}{\rho}}, \quad (4)$$

где φ - коэффициент расхода, зависящий от конструкции соплового устройства, F - площадь сечения сопла, ρ - плотность газа в баллоне.

Для нахождения величин p , ρ и T , можно записать систему трех уравнений - баланса массы, энергии и уравнения состояния:

$$V \frac{d\rho}{dt} = -G, \quad V \frac{d(\rho U)}{dt} = -Gh, \quad p = \rho RT, \quad (5)$$

Первое уравнение системы для адиабатного течения газа с учетом выражения (3), принимает вид:

$$V \frac{d\rho}{dt} = -c_d F \cdot \frac{\sqrt{\kappa p_0}}{\rho_0^{\kappa/2}} \cdot \rho^{\frac{\kappa+1}{2}} \sqrt{\left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}}}, \quad (6)$$

Начальным условием этого обыкновенного дифференциального уравнения будет:

$$t = 0, \quad \rho = \rho_0, \quad (7)$$

Решение уравнения (6) с учетом начального условия (7), имеет следующий вид:

$$\rho(t) = \frac{1}{[\rho_0^{-0,2} + Kt]^5}, \quad \text{где}$$

$$K = \frac{c_d F \sqrt{\kappa p_0}}{2V \rho_0^{\kappa/2}} \sqrt{\left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}}} (\kappa - 1), \quad (8)$$

Используя определение реактивной силы, как произведение расхода G на скорость истечения w , представим ее в виде [4]:

$$R_x = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa+1}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_0^\kappa} \frac{5VK}{[\rho_0^{-0,2} + Kt]^7} = \frac{B}{[\rho_0^{-0,2} + Kt]^7},$$

где $B = 5VK \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa+1}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_0^\kappa}, \quad (9)$

Масса спасательного средства в начальный момент времени может быть представлена следующим образом:

$$m = m_{\text{тс}} + 2m_{\text{г}} \quad (10)$$

где $m_{\text{тс}}$ - суммарная масса тележки и двух баллонов, $m_{\text{г}}$ - масса газа, содержащегося в этих баллонах объемом V каждый.

Принимая во внимание выражения (9) и (10) запишем уравнение Мещерского для спасательного модуля, как уравнение движения материальной точки по ледовой поверхности с коэффициентом трения скольжения f [2]:

$$\left[m_{\text{тс}} + \frac{2V}{[\rho_0^{-0,2} + Kt]^5} \right] \left(\frac{dv}{dt} + fg \right) = \frac{2B}{[\rho_0^{-0,2} + Kt]^7}, \quad (11)$$

где g - ускорение свободного падения, f - коэффициент трения скольжения.

Начальным условием этого уравнения будет:

$$t = 0 \quad v = 0, \quad (12)$$

Интегрирование уравнения (11) дает зависимость скорости $v(t)$ от времени:

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = -\frac{B}{3Km_{\text{тс}}(\rho_0^{-0,2} + Kt)^6} - \frac{fg(\rho_0^{-0,2} + Kt)}{K} + \frac{B\rho_0^{1,2}}{3Km_{\text{тс}}} + \frac{fg}{K\rho_0^{0,2}}, \quad (13)$$

Зависимость пройденного пути от времени $x(t)$ можно найти интегрированием уравнения (13), полагая, что в начальный момент времени $t = 0$ величина $x = 0$:

$$x(t) = \frac{B}{15K^2 m_{\text{тс}} (\rho_0^{-0,2} + Kt)^5} - \frac{fg(\rho_0^{-0,2} + Kt)^2}{2K^2} + \left(\frac{B\rho_0^{1,2}}{3K^2 m_{\text{тс}}} + \frac{fg}{\rho_0^{0,2} K^2} \right) (\rho_0^{-0,2} + Kt) - \frac{2B\rho_0}{5K^2 m_{\text{тс}}} - \frac{f \cdot g}{K^2 \rho_0^{0,4}}, \quad (14)$$

После окончания надкритического режима истечения давление в баллоне становится равным $p_a / \beta \approx 1,89$ бар и дальнейшее понижение давления газа уже не сказывается на характеристиках движения модуля.

На рисунках 1-3 представлены для различных диаметров сопла d результаты расчетов зависимости ускорения модуля, его скорости и пройденного пути от времени при наличии двух баллонов с воздухом объемом $V = 1 \text{ м}^3$ каждый, с начальным давлением $p = 200$ бар. При этом принималось: суммарная масса тележки и двух баллонов $m_{\text{тс}} = 8000$, кг, масса газа в каждом заполненном баллоне $m_{\text{г}} = 510,52$, кг, коэффициент трения скольжения $f = 0,1$.

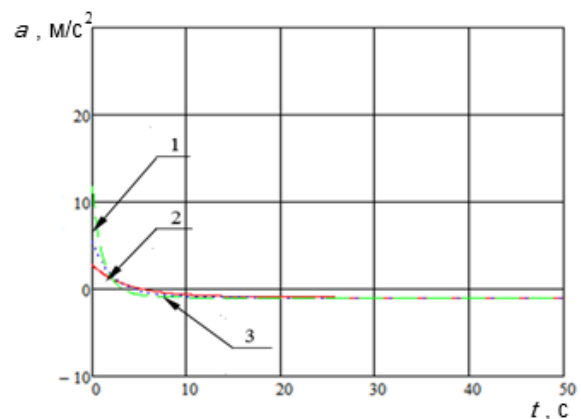


Рис. 1. Изменение ускорения спасательного модуля при разных значениях диаметра сопла
1 - $d = 0,038$ м, 2 - $d = 0,05$ м, 3 - $d = 0,07$ м

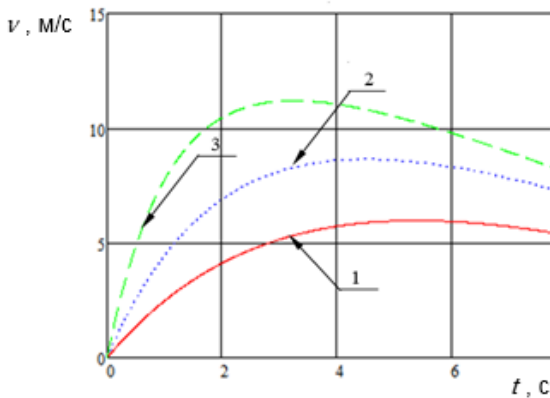


Рис 2. Изменение скорости спасательного модуля при разных значениях диаметра сопла
1 - $d = 0,038$ м, 2 - $d = 0,05$ м, 3 - $d = 0,07$ м.

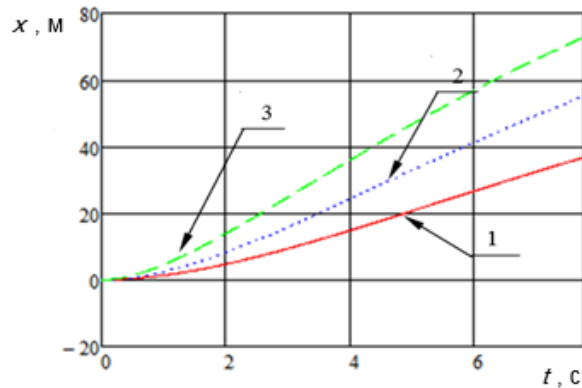


Рис 3. Путь, пройденный спасательным модулем при разных значениях диаметра сопла
1 - $d = 0,038$ м, 2 - $d = 0,05$ м, 3 - $d = 0,07$ м

Заключение

Выполненные расчеты движения спасательного модуля с пневматическим движителем показывают, что этот модуль

проходит значительное расстояние, которое зависит от давления газа в баллонах, их объемов и диаметров сопел.

Литература

1. Таровик В.И., Вальдман Н.А., Павловский В.А., Карелин А.А., Буракова Е.А., Рап М.М. Аварийное спасательное средство для экстренной эвакуации персонала с морских платформ в ледовых условиях. Труды Крыловского государственного научного центра. СПО.2013. Выпуск 74 (358). С.107-116.
2. Космодемьянский. А.А. Курс теоретической механики (часть 1). М.: Издательство "Просвещение". 1965 г. 243 с.
3. Павловский В.А. Введение в термодинамику реальных газов: Монография/ СПб.:ФГУП "Крыловский государственный научный центр". 2013. 230 с.
4. Космодемьянский. А.А. Курс теоретической механики (часть 2). М.: Издательство "Просвещение". 1966 г. 402 с.
5. Вулис Л.А. Термодинамика газовых потоков. М.: Государственное энергетическое издательство. 1950 г. 305 с.

References

1. Tarovik V.I., Val'dman N.A., Pavlovskij V.A., Karelin A.A., Burakova E.A., Rap M.M. Avarijnoe spasatel'noe sredstvo dlja jekstrennoj jevakuacii personala s morskij platform v ledovyh uslovijah. Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra. SPO.2013. Vypusk 74 (358). S.107-116.
2. Kosmodem'janskij. A.A. Kurs teoreticheskoj mehaniki (chast' 1). M.: Izdatel'stvo "Prosveshhenie". 1965 g. 243 s.
3. Pavlovskij V.A. Vvedenie v termodinamiku real'nyh gazov: Monografija/ SPb.:FGUP "Krylovskij gosudarstvennyj nauchnyj centr". 2013. 230 s.
4. Kosmodem'janskij. A.A. Kurs teoreticheskoj mehaniki (chast' 2). M.: Izdatel'stvo "Prosveshhenie". 1966 g. 402 s.
5. Vulis L.A. Termodinamika gazovyh potokov. M.: Gosudarstvennoe jenergeticheskoe izdatel'stvo. 1950 g. 305 s.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВИНТО-РУЛЕВЫХ КОЛОНОК РЕЙДОВЫХ БУКСИРОВ

Трошов Сергей Тасмуханович

Аспирант Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3

e-mail: traktortug@mail.ru

Фрумен Александр Исаакович

Кандидат технических наук, профессор,
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3

e-mail: grossfrum@post.ru

Аннотация

В статье представлены результаты экспериментального исследования аналитическим методом причин самопроизвольного выкручивания болтов (М 36Х120, класс прочности 8.8) стыковочных узлов поворотной трубы промежуточной части и фланца поворотной трубы верхнего редуктора ВРК проекта US205/2810 производства компании «Rolls-Royce». Определены реальные усилия затяга Q_3 , а также момент затяжки болтов.

На основе составленных формул построена схема для расчета величины перемещения болтов в резьбовых отверстиях фланца поворотной трубы со стороны винта. Полученные результаты сопоставлены со справочными значениями предела текучести для болтов класса 8.8. Учитывались усилия от веса ВРК и сумма усилий для крайнего болта.

На основе проведенных исследований авторами статьи разработана и предложена технология предотвращения самопроизвольного выкручивания болтов, которая в дополнение к существующим методам, применяемым компанией изготовителей колонок ВРК, позволит решить эту проблему. Новая технология позволяет увеличить срок службы крепежа в межремонтный период и повысить надежность эксплуатации ВРК без проведения дорогостоящих (с докованием судна) ремонтов.

Ключевые слова: Винто-рулевая колонка, портовые буксиры, промежуточный фланец поворотной трубы, повышенная вибрация, затяжка болтов, нижний редуктор, раскручивание, новая технология ремонта

METHODS OF INCREASE OPERATION RELIABILITY RUDDER PROPELLERS RAID TAGS

Troshov Sergei Tasmukhanovich

post-graduate student of The Department of Applied Mechanics

Saint-Petersburg State Marine Technical University
Russia, 190008, St. Petersburg, Lotsmanskaya str., 3

Frumen Aleksandr Isaakovich

PHD, professor of The Department of Applied Mechanics

Saint-Petersburg State Marine Technical University
Russia, 190008, St. Petersburg, Lotsmanskaya str, 3

e-mail: grossfrum@post.ru

Abstract

In this article there are presented results of experimental research by analytic method of reasons of spontaneous screwing out of bolts of rotation stern tube connecting units of an intermediate part and upper gear rotation tube flange of a US 205 FP/2810 thruster installed at azimuth tug boat. Real values of Q - tighten efforts and bolts tightening torque are defined.

On a base of made formulas a scheme for calculation of bolts' movement value in flange thread holes of rotation tube from a side of a screw is built. Received results are compared to reference values of a liquid limit for M 8.8 bolts. Efforts from thruster weight and a sum of efforts for end bolt were taken into account.

On a base of the made researches authors of the article developed and suggested a technology to prevent spontaneous bolts screwing out, which (in addition to existing methods used by a manufacturer of thrusters), will let to solve the problem. New technology let enlarge life period of fasteners in a period between repairs and increase a reliability of a thruster' use without expensive (without ship docking) repairs.

Initially in the beginning a story of first full rotation thrusters' creature is described, advantages of new type of thruster comparing to classical main power units are shown, operation area of some thrusters' modifications at vessels of different type of purpose is presented. Authors indicated a problem which occurs in a period of tug boat with full rotated thrusters operation in conditions of winter navigation as well as they found out some defect connecting units, which suffer from high additional loads powered by a rotation of propeller in nozzle which is completed with ice bars.

The article is accompanied with a range of pictures where authors indicated points of thrusters' locations at vessel, inner construction of thruster intermediate part, drawing of details of a new device for additional bolt fixation.

Key words: Thruster, harbor tugs, intermediate flange stem tube, extensive vibration, tight Allen bolts, lower gear, unscrew, new technology of repair

Введение

Спроектированная в 1951 г. доктором Беккером 1-ая полноповоротная вино-рулевая колонка (ВРК), со временем полностью доказала свою эффективность в качестве механизма, сочетающего в едином целом функцию и движителя, и рулевого устройства по сравнению с классическими схемами ГЭУ. Конструктора и судовладельцы на первых положительных примерах эксплуатации судов с ВРК смогли по достоинству оценить преимущества движителя нового типа.

В настоящее время ряд модификаций ВРК с успехом применяется на судах различного класса и назначения: портовые и рейдовые буксиры, морские и речные буксиры-толкачи, спасатели, суда оффшорных зон, танкера, морские, речные сухогрузы и контейнеровозы, пассажирские и грузопассажирские паромы, океанские круизные лайнеры, ледоколы, нефтедобывающие и буровые разведывательные платформы.

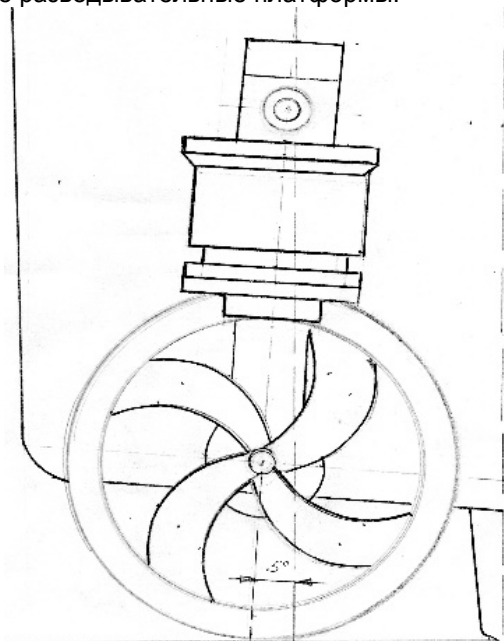


Рис. 1. Расположение ВРК на судне.

На Российских судовой верфях полноповоротные ВРК с механическим приводом стали устанавливаться на портовых буксирах кантовщиков с 2000 года. В процессе их эксплуатации в период зимней навигации выявилась проблема заполнения поворотно-рулевых насадок нижних редукторов кусками битого льда. По этой причине буксир теряет ход и маневренность, а вращение винта в заполненной льдом насадке приводит к возникновению дополнительных сил, вызывающих сильную вибрацию кормовой части судна, которая воздействует на стыковочные узлы крепления нижнего и верхнего редукторов ВРК.

Такой проблеме повышенной вибрации подвержена ВРК модели US205/2810 (4-х лопастной винт фиксированного шага из никель-алюминиевой бронзы с полной частотой вращения 314 об./

мин., рулевая насадка типа PV), устанавливаемая, в основном, на буксирах полным водоизмещением 380 – 450 тонн. Такие суда имеют две ВРК, расположенные в кормовой части с уклоном в нос 70 и наклоном на борт 50.

Фирма производитель ВРК в качестве средства фиксации болтов от самопроизвольного выкручивания, использует клеи марок «Loctite-542» и «Loctite-577», а также контровочную проволоку из нержавеющей стали, привариваемую электросваркой к головкам болтов и гаек. Как показал первый опыт их эксплуатации, данные средства оказались недостаточно эффективны на воздействие повышенных нагрузок.

В периоды произведенных ремонтов ВРК выявлено, что первыми начинают самопроизвольно выкручиваться болты из резьбовых отверстий поворотной дейдвудной трубы промежуточной части колонки, соединяющей фланец поворотной трубы нижнего редуктора. Такое самопроизвольное откручивание болтов может привести к ослаблению фланцевого соединения, вплоть до отрыва и потери нижнего редуктора с насадкой и винтом.

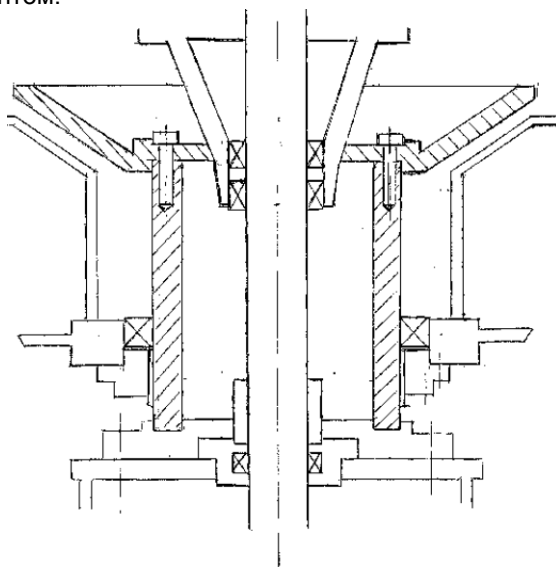


Рис. 3. Схема крепления фланца поворотной дейдвудной трубы.

В работе определены силы и моменты, связанные с дополнительными нагрузками, предложены способы исключения самопроизвольного выкручивания болтов в процессе эксплуатации.

В классической схеме ГЭУ судна в узлах крепления двигателя к судовому фундаменту, создаются силы противодействующие внешним нагрузкам. При этом силы трения и тангенциальные силы работы призонных болтов «на срез» должны в два раза превышать сумму эксплуатационной силы, действующей в плоскости крепления опор дизеля и судового фундамента. Сила трения между сопрягаемыми поверхностями формируется

предварительным натягом при затяжке болтов тарированным усилием.

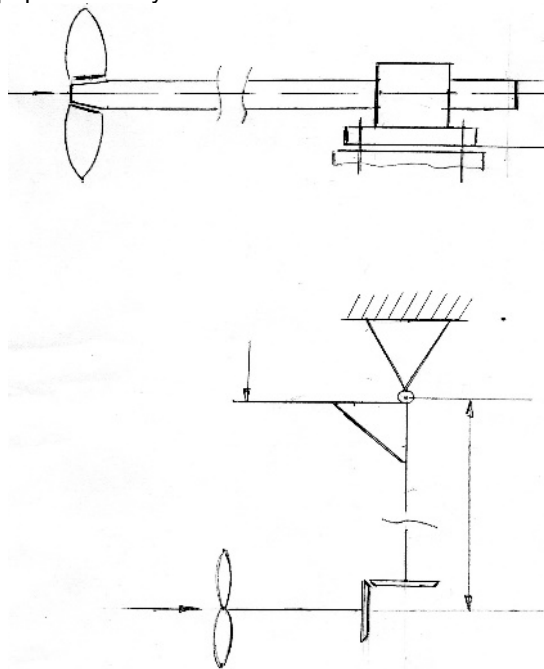


Рис. 2. Схемы приводов: классическая (верх) и ГЭУ с Z-приводом.

На судах с применением ГЭУ с Z-drive приводом, фланцевые соединения ВРК (внутренние и наружные) испытывают одновременно нагрузки от сдвигающего усилия и изгибающего момента. Материал болтов при этом работает на растяжение, как и в классических схемах расположения оборудования. Эти нагрузки дополнительно воздействуют на стыковые соединения, а болты в них работают на растяжение.

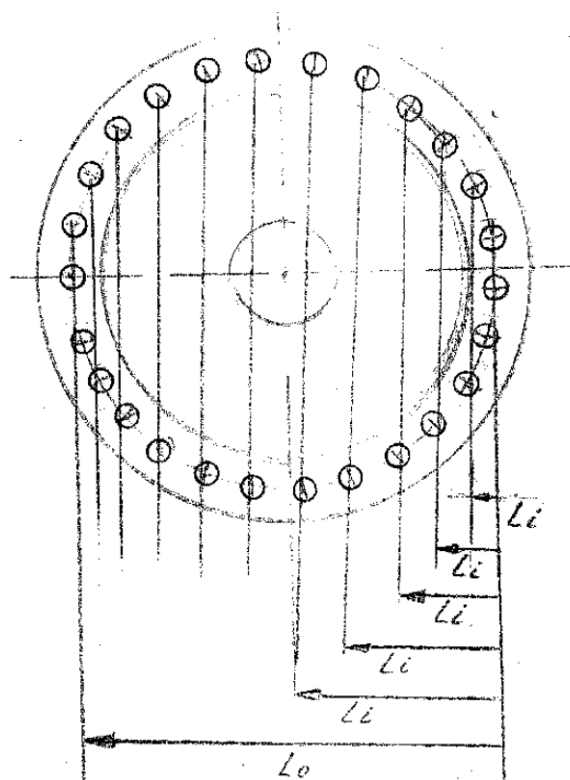
В этом случае приложенный изгибающий момент создает напряжения растяжения в болтах. Сдвигающее усилие (упор) влияет только на возможную горизонтальную относительную подвижность фланцев при уменьшении силы трения, связанную с изменением затяга.

В процессе эксплуатации ВРК могут возникать дополнительные статические и динамические усилия от упора винта, приводящие к превышению в отдельных болтах предела текучести материала, что ослабляет стыковочное фланцевое соединение.

Использую стандартные данные механических свойств материала болтов М36/120 класса прочности 8.8, а также действующие методики расчета резьбовых соединений выполнены расчеты болтов на смятие.

Расчеты

Расчеты проведем на основе методике [1].



Применительно к рассматриваемому случаю имеем: n=55 – число болтов;

L0=554,8 мм; L1=325,6 мм, L2=496,4 мм, L3=438,0 мм, L4=379,6 мм, L5=314,0 мм, L6=204,4 мм, L7=131,4 мм, L8=87,6 мм, L9=43,8 мм, L10=29,5 мм.

$$Q_{max} \begin{cases} Q_{рас} = \frac{\pi d^2}{4n} P \\ Q_3 = \frac{\pi d_{min}^2}{4} [\sigma_3] \end{cases}$$

Здесь:

d = 62 см. - диаметр фланца поворотной трубы;

напряжение затяга болтов М36×120, класса прочности 8.8 равно - $[\sigma_3] = 2232$ кгс/см²;

минимальный диаметр резьбы стержня $d_{min} = 2,6$ см.

Максимальный упор винта равен:

$$P_{max} = P_{уп} + \Delta P = 22814 \text{ кгс.}$$

$$\Delta P \approx \frac{\sigma^{-1} - \sigma}{\sigma} \cdot P_{уп};$$

$$S = \frac{\pi d^2}{4}; \text{ а } \sigma = \frac{1,2 \cdot 200000}{10,2} = 2360 \text{ кгс/см}^2;$$

$$\sigma \leq [\sigma] < \sigma_T; \quad [\sigma]^{-1} = 0,4\sigma_T,$$

где $\sigma_T = 660$ н/мм²

$$[\sigma]^{-1} = 0,4\sigma_T = 2692 \text{ кгс/см}^2.$$

Внутренний шестигранник болта М36 имеет диаметр 2,7 см. $\frac{r}{s/2} = 1,15$

Значит $2r = 1,15 \cdot S = 1,56$ см².

Опорная площадь для болта

$$F = 6,1 \text{ см}^2 \quad \sigma_{сш} = \frac{Q}{F} = 1942 \text{ кгс/см}^2$$

Учитывая возможный перекоса получаем

$$\sigma_n = 2 \cdot \sigma_{сш} = 3884 \text{ кгс/см}^2$$

Момент затяжки болта при этом равен

$$M = 0,13 P d = 543 \text{ кгс} \cdot \text{см}$$

где 0,13 – коэффициент трения в нарезке без смазки $\xi = 0,11 \div 0,13$.

Модуль упругости стали 40Х равен 215 ГПа, следовательно, жесткость болта на растяжение равна

$$K = \frac{E S}{L_0} = 946 \text{ кгс/см}^2, \text{ где } S = \pi r^2 = 5,3 \text{ см}^2$$

Мупора=РН, где Н – расстояние между фланцем и осью винта.

$$M_{\Sigma} = \Sigma M_i = K \frac{\Delta_0}{L_0} \cdot \Sigma L_i^2 = 455285$$

$$\text{где } \Delta_0 = \frac{M_{\Sigma}}{L_0 \cdot K} = 0,83 \text{ см}$$

$$F_0 = \Delta_0 \cdot K = 7881,5 \text{ кгс}, \quad \sigma_0 = 1487 \text{ кгс/см}^2$$

Общий вес ВРК с учетом массы масла, приходящийся на каждый болт составит: **336** кгс. Поделив это значение на площадь поперечного сечения болта получаем действующее напряжение – **63,5** МПа.

Пути повышения надежности узла

На основании выполненных расчетов предложена следующее конструктивное решение для повышения надежности узла и увеличения ремонтнопригодности в период эксплуатации.

При ремонте ВРК разбираются фланцевые соединения поворотной трубы и во внутреннем шестиграннике головки болта (М36) высверливается на глубину 12 мм отверстие диаметром 7,2 мм. Далее в отверстии нарезается резьбы М8 (поз. 1, рис. 5). В головку болта (поз. 1, рис. 5) вставляется своей граненной частью полый шестигранник (поз. 3, рис. 5) длиной 35 мм, с резьбовой частью на другом конце.

На каждые два соседних болта, после установки в них шестигранников, накладываются стальная пластина (поз. 2, рис. 5). Расчет по МКЭ показывает, что толщина пластины в 5 мм. Обеспечивает ее прочность на величину момента раскрутки, принятого равным моменту затяжки болтов. Пластина выступает над граненной частью шестигранников на 2 мм. На резьбовые части шестигранников накручиваются гайки М26 (поз. 4, рис. 5), прижимающие пластину к верхней части болтов.

От осевого (вертикального) перемещения сборка фиксируется болтом М8х42, проходящим через полую часть шестигранника и вкручиваемым в отверстие головки болта М36.

Для надежности фиксации на резьбовую часть болта наносится клей Локтайт 542.

Литература

1. Башкин А.К. Расчет резьбовых соединений автотранспортных двигателей. М.: Машиностроение. 1979 г.
2. «Крепеж, клеи, инструмент и т» №3, 2013 Журнал-справочник. Издательский центр АЛМА».
3. Серенсен С.В., Кочаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. М.: Машиностроение. 1975 г.
4. Болты, винты и шпильки. Механические свойства и методы испытаний. ГОСТ 1759.4-87. Справочник. М.: Машиностроение 1987 г.
5. Руководство по обслуживанию. Механика и гидравлика ВРК модели AQM US 205 FR/2810. Rolls-Royce.
6. Фрумен А.И., Строганова О.С. Решение плоской контактной задачи с помощью конечных элементов моментной теории упругости. Труды XXV Международной конференции «Математическое моделирование в механике деформируемых сред и конструкций. Методы граничных и конечных элементов». Санкт-Петербург 23–26 сентября 2013г., Стр.219-220.

Rereferences

1. Baschkin A.K. Calculation thread connection auto and traktor diesel engines .Moskva.Mashinostroenie.1979. Pages 6-31.
2. Bolts, glue, tools and----.Magazin № 3. «Alma». 2013. Pages 53.
3. RR azimuth thrusters type US 205 FP |2810. Instruction manual .Mechanical and hydraulic part.
4. Serensen C.V., Kogaev V.P., Scneiderovich R.M. Carry capability and calculation detail of machines on strength.Moskva.Mashinostroenie.1975.

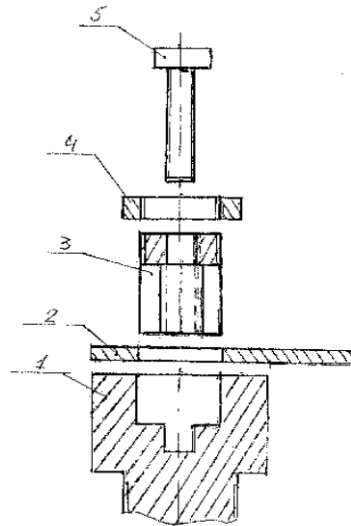


Рис. 5. Схема дополнительной фиксации болтов фланца.

Заключение

В работе выявлены основные причины самопроизвольного выкручивания болтов. Предложена конструкция, позволяющая как повысить надежность узла, так и увеличить сроки межремонтного периода работы соединения. При этом повышается экономический эффект от повторного использования крепежа.

Разработана кинематическая схема и определены основные размеры ее деталей для дополнительной фиксации болтов. Выполнен прочностной анализ: определены возможные максимальные силы и моменты, действующие на соединение в узле; на основе МКЭ построена расчетная схема и выполнена проверка напряженно-деформированного состояния предложенного соединения.

5. Reference book. Bolts, screws. Mechanical property and tested methods. GOST 1759.4-87. Moskva. Pages 3, 12-16.
6. Frumen A.I., Stroganova O.S. Solution plane contact problem with assistance method final elements of elastic theory. Book 25 conference .SPb. 2013.Pages 219-220.

Проектирование и конструкция корабля

УДК 629.12.001.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БУКСИРОВОЧНОЙ МОЩНОСТИ НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Артюшина Татьяна Геннадиевна

кандидат технических наук, доцент

Российская экономическая академия им. Г.В.Плеханова

117997, Москва, Стремянный пер., 36

e-mail: kafedra_vm@mail.ru

Гайкович Александр Иосифович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования судов

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3

e-mail: a_gaikov@mail.ru

Никитин Николай Васильевич

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования судов

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

e-mail: morintex_spb@mail.ru

Аннотация

В работе рассматривается проблема определения мощности главных двигателей на начальных стадиях проектирования. Дается краткий обзор существующих методов. Рассматриваются методы пересчета с прототипа, эмпирические процедуры и использование результатов систематических модельных испытаний в опытовых бассейнах.

Выдвигается тезис, что для начальных стадий проектирования требуются простые методы, но позволяющие изучить влияние главных размерений и коэффициентов полноты на определяемую мощность главных двигателей. Предлагается использование метода Э.Э. Папмеля, пригодного для кораблей и судов различных типов и классов, благодаря широкому диапазону изменения входных характеристик для расчета. Для возможного применения метода в компьютерных моделях проектирования произведена аппроксимация семейства графиков, определяющих один из основных параметров расчетного алгоритма. Аппроксимация выполнена на базе многочленов пятой степени. Для получения значения искомого параметра вначале находится результат аппроксимации для базовой кривой, а затем вводятся соответствующие поправки.

Верификация показала достаточную точность аппроксимации для начальных стадий проектирования.

Ключевые слова: Начальные стадии проектирования кораблей и судов, мощность главных двигателей, буксировочное сопротивление, графики Э.Э. Папмеля, аппроксимация.

DETERMINATION OF TOWING POWER AT INITIAL DESIGN STAGES

Artjushina Tat'jana Gennadievna

Candidate of Science, associate professor

Russian Economic Academy named after G.V. Plekhanov

117997, Moskva, Stremjannyj per., 36

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 SAINT-PETERSBURG

Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation

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 SAINT-PETERSBURG

Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation
e-mail: morintex_spb@mail.ru

Abstract

The problem of power for main engines at initial designing stages is considered in the work. Brief review of the existing methods is given. Methods of conversion from prototype, empirical procedures and use of the results on regular model tests in ship experimental tanks are studied.

Thesis is put forward that for initial stages of designing simple methods allowing examining influence of main dimensions and fullness ratios on the determined power of main engines are required. Pampel method suitable for ships and vessels of various types and classes due to the wide range of changes in input characteristics for calculations is suggested to be used. For possible use of the method in computer designing model the family of diagrams determining one of main parameters for calculation algorithms is approximated. Approximation is made on the basis of quintic expressions. In order to obtain value of the required parameter firstly the result of approximation shall be determined for the base curve, and then the appropriate corrections are implemented.

Verification has shown sufficient accuracy of approximation for initial designing stages.

Key words: Initial design stages of the ships and courts, power of the main engines, towing resistance, E.E Pampel's schedules, approximation.

Введение

Важнейшей задачей на начальной стадии проектирования любого корабля или судна является определение мощности его главных двигателей для достижения заданной скорости.

Особенности начальных этапов работы над проектом состоит в отсутствии подробной информации по кораблю. Как правило, известны его главные размерения и интегральные характеристики формы – коэффициенты полноты.

1. Обзор методов предварительного расчета мощности главных двигателей

Для поиска значения суммарной мощности главных двигателей на ранних стадиях проектирования возможно использование следующих методов:

- пересчет с прототипа;
- использование расчетных процедур, основанных на эмпирических формулах;
- применение результатов серийных испытаний моделей судов в бассейне.

Применимость того или иного способа диктуется следующими обстоятельствами:

- необходимостью оценить влияние главных размерений, их соотношений, коэффициентов полноты на ходовые качества проекта;
- пригодность для широкого диапазона изменения указанных характеристик проекта и характера его будущих обводов;
- простота использования.

Сопоставим методы расчета мощности под углом вышеперечисленных требований.

Общепризнанным методом пересчета требуемой мощности с прототипа является применение "адмиралтейских" формул вида:

$$N = \frac{D^m \cdot v_S^n}{C} \tag{1}$$

где N – искомая мощность главных двигателей, D – полное водоизмещение, vS – скорость хода, C – "адмиралтейский" коэффициент, который и определяется пересчетом.

Показатели m и n в (1) зависят от конкретного типа "адмиралтейской" формулы [1]. В "классическом" варианте m = 2/3, n = 3.

Однако, метод пересчета корректен при подобии обводов и характеристик пропульсивного комплекса между проектом и прототипом, что сужает поле поиска новых проектных решений.

Использование результатов статистических исследований позволяет ориентироваться не на конкретный прототип, а на их совокупность, что расширяет возможности исследовательского проектирования. Так, в работе [2] показано, что для большой группы транспортных судов (более 1000 единиц), построенных во второй половине XX века существует устойчивая зависимость вида:

$$N = \frac{V^{0,5} \cdot v_S^{2,5}}{C_{mn}} \tag{2}$$

где N – мощность в л.с, V – объемное водоизмещение в м3, vS – скорость хода в узлах, Cmn – коэффициент, равный 20 ± 2.

Основным методическим недостатком формул типа "адмиралтейских" является то обстоятельство, что влияние главных размерений и коэффициента общей полноты на мощность главных механизмов представляется равновзвешенным. Поэтому использование подобных формул, например, в методе вариаций [3], или других оптимизационных методиках, может привести к неверному результату.

Эмпирические процедуры определения мощности могут строиться и на основе известной физической зависимости мощности N от

силы сопротивления движению судна R , его скорости v и пропульсивного коэффициента η :

$$N = \frac{R \cdot v}{\eta} \quad (3)$$

Произведение $R \cdot v$ равно буксировочной мощности, обозначаемой, обычно, как EPS.

Так, для расчета силы сопротивления движению судна может быть использован метод Holtrop'a и Mennen'a [4], изложенный, например, в [5]. Эта процедура учитывает целый ряд особенностей формы корпуса, присущий современным судам, однако, в диапазон ее применимости не вошли быстроходные корабли со значительным удлинением корпуса и числами Фруда, превосходящими 0,45.

Определение пропульсивного коэффициента требует определение коэффициента полезного действия движителя, в свою очередь нуждается в значении частоты вращения вала отбора мощности, или выходного вала редуктора. Эти параметры могут быть определены, когда главные двигатели уже выбраны.

Наиболее точный результат при определении силы сопротивления, а следовательно, и мощности главных двигателей, дают методы, основанные на результатах серийных испытаний моделей судов в опытовых бассейнах. К сожалению, эти методы, также как и методы пересчета с прототипа, связывают руки проектантов в смысле выбора обводов проекта. Кроме того, коэффициенты полноты и соотношения главных размерений не могут выходить за пределы изменения этих параметров в серии [5].

2. Использование метода Э.Э. Папмеля для расчета буксировочной мощности

В 1936 году инженером Э.Э. Папмелем был предложен способ расчета буксировочной мощности, опирающийся на основе обработки результатов большого числа модельных и натурных (!) испытаний кораблей и судов [6].

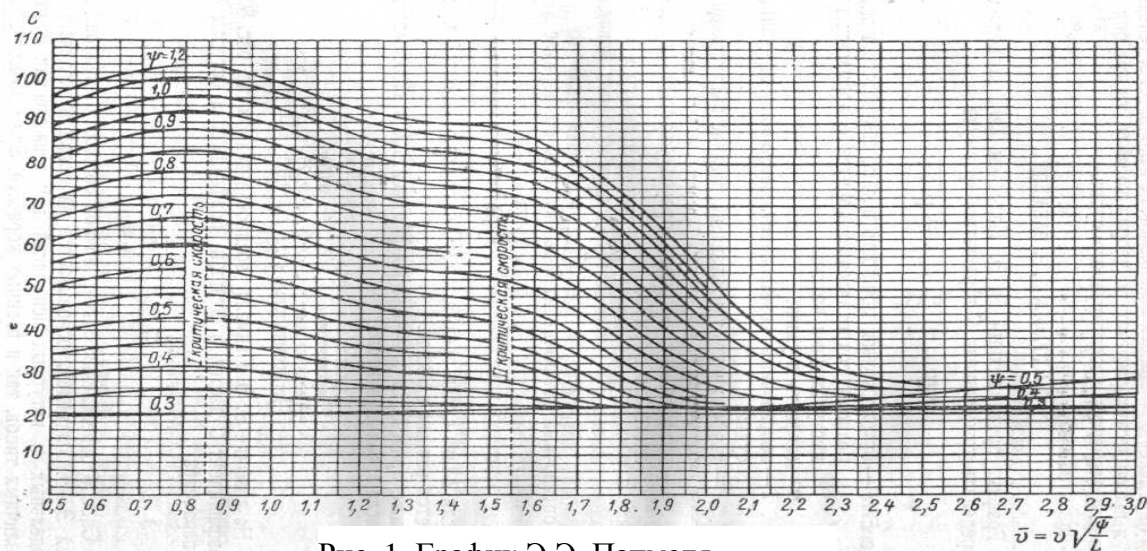


Рис. 1. График Э.Э. Папмеля

В силу труднодоступности первоисточника, представим этот метод в изложении [7], [8].

Диапазон применимости метода:

$$\begin{aligned} L/B &= 4,0 \dots 10,0; \quad \delta = 0,35 \dots 0,80 \\ B/T &= 1,5 \dots 3,5; \quad \psi = 0,35 \dots 1,20 \end{aligned}$$

где L – длина судна по КВЛ, B – ширина судна на миделе, T – осадка, δ – коэффициент общей полноты; ψ – коэффициент остроты корпуса, вычисляемый по формуле:

$$\psi = 10 \frac{B}{L} \delta \quad (4)$$

Буксировочная мощность определяется по выражению:

$$EPS = \frac{D}{L} \cdot \frac{v_S^3}{C \cdot \lambda} \cdot (1+k) \cdot \sqrt{\psi} \quad (5)$$

где – буксировочная мощность в л.с.; – скорость в узлах; λ – поправочный коэффициент, вычисляемый по формуле:

$$k = 0,7 + 0,3 \cdot \sqrt{\frac{L}{100}} \quad (6)$$

Если длина судна превышает 100 м, то $\lambda = 1$. Коэффициент k зависит от числа гребных винтов:

$k = 0$	для одновинтовых судов
$k = 0,050$	для двухвинтовых судов
$k = 0,075$	для трехвинтовых судов
$k = 0,1$	для четырехвинтовых судов

Коэффициент C определяется по графику (рис. 1) в функции коэффициента остроты ψ и параметра:

$$\bar{v} = v \cdot \sqrt{\frac{\psi}{L}} \quad (7)$$

Сильной стороной метода Э.Э. Папмеля является его универсальность: он применим для определения буксировочной мощности судов и кораблей разных типов и классов. Метод позволяет исследовать влияние отдельных характеристик геометрии корпуса на результат расчета. Вычислительная схема данного метода достаточно проста.

Но необходимость использования графика не допускает применения метода в компьютерных моделях проектируемых судов.

Авторы попытались получить аппроксимацию графика на рис.1. Диапазон аппроксимации по \bar{v} принимался равным 0,5 ... 2,4.

Идея аппроксимации заключалась в следующем. Сначала находилась аппроксимация одной из кривых при фиксированном параметре ψ . За базовую кривую была принята кривая при значении $\psi = 1,2$.

Результат аппроксимации:

$$C_{1,2} = 14,2348 \cdot \bar{v}^6 - 50,752 \cdot \bar{v}^5 - 86,598 \cdot \bar{v}^4 + 625,779 \cdot \bar{v}^3 - 1063 \cdot \bar{v}^2 + 739,989 \cdot \bar{v} - 80,549 \quad (8)$$

Для других значений параметра ψ значение коэффициента C находилось путем введения поправки к значению базового коэффициента, которая рассматривалась как функция параметра ψ :

$$C = C_{1,2} - \Delta_1 C(\psi) \quad (9)$$

Аппроксимация функции поправки искалась как полином 2-й степени:

$$\Delta_1 C = a(\bar{v}) \cdot \psi^2 + b(\bar{v}) \cdot \psi + c(\bar{v}) \quad (10)$$

Коэффициенты аппроксимационной формулы (10) рассматривались как функции этого параметра, вычисляемого, как и в (8), по формуле (7).

Результаты аппроксимаций:

$$a(\bar{v}) = 7,68736 \cdot \bar{v}^5 - 27,516 \cdot \bar{v}^4 + 62,2599 \cdot \bar{v}^3 - 178,1 \cdot \bar{v}^2 + 199,791 \cdot \bar{v} - 17,526 \quad (11)$$

$$b(\bar{v}) = -118,42 \cdot \bar{v}^5 + 794,149 \cdot \bar{v}^4 - 2091,6 \cdot \bar{v}^3 + 2781,65 \cdot \bar{v}^2 - 1787,2 \cdot \bar{v} + 259,324 \quad (12)$$

$$c(\bar{v}) = 120,114 \cdot \bar{v}^5 - 835,05 \cdot \bar{v}^4 + 2212,16 \cdot \bar{v}^3 - 2827,5 \cdot \bar{v}^2 + 1714,14 \cdot \bar{v} - 258,51 \quad (13)$$

Верификация зависимостей, аппроксимирующих графики рис.1 дала возможность ввести еще одну уточняющую поправку:

$$\Delta_2 C = -119,38 \cdot \psi^3 + 267,773 \cdot \psi^2 - 182,89 \cdot \psi + 37,9264 \quad (14)$$

Окончательный обобщенный вид аппроксимации для графиков Э.Э. Папмеля:

$$C = C_{1,2} - \Delta_1 C(\psi) + \Delta_2 C(\psi) \quad (15)$$

Проверка качества аппроксимации дала результат, приведенный в табл. 1.

Таблица 1.

Относительные погрешности ϕ определения коэффициента C по предложенной аппроксимации для различных значений параметра ψ

	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	,2	,0	,9	,8	,7	,6	,5	,4	,3
, %	3,0	1,8	1,5	2,2	3,4	5,7	6,9	6,1	5,2

Выводы

Полученная аппроксимация графиков Э.Э. Папмеля: обладает достаточной точностью, чтобы использоваться для определения буксировочной мощности судов на начальных стадиях проектирования.

Процедура расчета, благодаря аппроксимации стала полностью аналитической, что допускает её применения в компьютерных моделях проектирования судов.

Литература

1. Ашик В.В. Проектирование судов. – Л., Судостроение, 1975, 352 с.
2. Ашик В.В., Царев Б.А., Челпанов И.В. Приближенная оценка мощности судовой энергетической установки. – "Судостроение", 1972, №5, с. 6 – 11.
3. Ногид Л.М. Проектирование морских судов. Ч.1. Методика определения элементов проектируемого судна. – Л., Судостроение, 1964, 359 с.
4. Holtrop J., Mennen G.G..J. An approximate power prediction method. – "International Shipbuilding progress", 1982, 29, No 335, pp. 166 – 170.
5. Гайкович А.И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов. Т. 2. Анализ и синтез системы "Корабль". – СПб., МОРИНТЕХ, 2014, 872 с.
6. Папмель Э.Э. Практический расчет гребного винта. – Л., НИВК, 1936.
7. Ханович И.Г. Сопротивление воды движению корабля. – М., Воениздат, 1946, 316 с.
8. Ногид Л.М. Проектирование формы судна и построение теоретического чертежа. – Л., Судпромгиз, 1962, 243 с.

References

1. Ashik V.V. Proektirovanie sudov. – L., Sudostroenie, 1975, 352 s.
2. Ashik V.V., Tsarev B.A., Chelpanov I.V. Priblizhennaya otsenka moshchnosti sudovoy energeticheskoy ustanovki. – "Sudostroenie", 1972, №5, s. 6 – 11.
3. Nogid L.M. Proektirovanie morskikh sudov. Ch.1. Metodika opredeleniya elementov proektirue-mogo sudna. – L., Sudostroenie, 1964, 359 s.
4. Holtrop J., Mennen G.G..J. An approximate power prediction method. – "International Shipbuilding progress", 1982, 29, No 335, pp. 166 – 170.
5. Gaykovich A.I. Teoriya proektirovaniya vodoizmeshchayushchikh korablye i sudov. T. 2. Analiz i sintez sistemy "Korabl". – SPb., MORINTYeKh, 2014, 872 s.
6. Pampel E.E. Prakticheskiy raschet grebnogo vinta. – L., NIVK, 1936.
7. Khanovich I.G. Soprotivlenie vody dvizheniyu korablya. – M., Voenizdat, 1946, 316 s.
8. Nogid L.M. Proektirovanie formy sudna i postroenie teoreticheskogo chertezha. – L., Sudprom-giz, 1962, 243 s.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СКОРОСТНЫХ СУДОВ

Ляховицкий Анатолий Григорьевич

д.т.н., профессор

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

e-mail: alyakhov11@yandex.ru

Аннотация

В статье рассмотрены инновационные принципы проектирования скоростных судов. Отмечена их связь с тенденциями развития современного судостроения. Отмечена роль инноваций в развитии экономики страны. Выявляются, систематизируются и анализируются возможные направления совершенствования судов. Формулируются принципы разработки новых технических решений при их проектировании. Показана роль корабельной гидродинамики в развитии инновационных методов проектирования скоростных судов. Обосновывается целесообразность проектирования многокорпусных судов переходного режима движения. Отмечены возможности совершенствования многокорпусных судов переходного режима движения. Суда переходного режима движения обладают достаточно высокой скоростью хода при сохранении приемлемой энерговооруженности. Приведена некоторая информация по этим судам. Рассмотрены различные типы скоростных катамаранов. Они включают катамаран со сдвинутыми в продольном направлении подводными корпусами, катамаран с малой площадью действующей ватерлинии, катамаран с носовым подводным крылом между подводными корпусами судна. Отмечены спроектированные и построенные суда с тремя и четырьмя подводными корпусами, объединенными одной надводной платформой. Показана возможность расширения проектных решений при использовании инновационных многокорпусных схем скоростных судов новых архитектурно-конструктивных типов

Ключевые слова: инновация, исследование, концепция, проектирование, судно, катамаран, скорость, гидродинамика, сопротивление, волны

INNOVATIVE PRINCIPLES DESIGN OF HIGH-SPEED SHIPS

Lyakhovitsky Anatoly Grigorievich

the professor, Dr. Sci. Tech.,

STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG

e-mail: alyakhov11@yandex.ru

Abstract

The article considered innovative principles design of high-speed ships. Their connection with tendency development present shipbuilding and economics of country are mentioned. Possibly directions of ship perfection are exposed, systematized and analyzed. The principles of new technical direction are formulated. The role of ships hydrodynamics in development innovative methods design of high-speed ships have proven. The expediency of multi-hull ships the transient-regime of motion is substantiated. Some information of those ships is adduced. Different types of high-speed catamarans considered. They include catamaran with moved in longitudinal direction submarine hulls, catamaran with small water plane area (SWATH), catamaran with bow submarine wing between submarine hulls of ships. Marked designed and built ships with three and four submarine hulls consolidated one above-water platform. Showed possibility expansions of design decision with used innovation multihull schemes of high-speed ships new architecture – constructive types.

Key words: innovation, research, conception, design, ship, catamaran, speed, hydrodynamic, resistance, wave

Введение

Инновации рассматривают как одно из основных условий развития страны в целом, а также отечественного судостроения, в том числе его составляющей части – скоростного судостроения: проектирования и строительства скоростных судов (СС). Судостроение входит в число отраслей промышленности, производящих конкурентную продукцию, обладающую существенным потенциалом развития.

Наряду с авиационной судостроительная отрасль – крупный производитель и экспортер товарной продукции. В 2005г., например, пред-

приятия судостроительной промышленности экспортировали 47,8% произведенной продукции [1].

Наибольший эффект от инноваций и внедрения научных результатов можно получить в тех областях техники, где раньше уже были достигнуты существенные практические результаты. К началу 1990-х годов, как известно, такие практические результаты были достигнуты отечественным судостроением по СС различных типов и назначения.

Для СС, как сложных технических систем, характерно доминирование функциональной

гидродинамической подсистемы. Это связано со сложностью и неоднозначностью гидродинамических процессов, происходящих при возрастании скорости хода судов, начиная с переходного режима движения. Создание всех типов СС сопровождалось опережающими комплексными теоретическими и экспериментальными исследованиями в области гидродинамики корабля. По оценкам на начало XXI века скорость движения морских судов составляет около 18 узлов [2].

Считают, что уже к 2020 году конкурентоспособными на мировом рынке будут компании, обладающие судами, способными осуществлять перевозки со скоростью 40 узлов и более. Проектирование таких судов должно быть осуществлено в рамках утвержденной правительством России Федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники на 2009-2016 г.г.», являющейся одной из составляющих «Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2020г. и на дальнейшую перспективу» [3]. В перспективный ряд российской гражданской морской техники включены скоростные суда для использования на морских и внутренних линиях. Создание эффективных и конкурентоспособных СС требует инновационного подхода к их проектированию.

1. Гидродинамика и скорость

Международная морская организация (ИМО) определила СС по максимальной скорости движения (V_{\max} , м/с), удовлетворяющей следующему неравенству:

$$v_{\max} > 3,7V^{0,1667}, \quad (1)$$

где V , м³ - объемное водоизмещение, соответствующее проектной ватерлинии.

Выражение (1) легко преобразуется к виду:

$$Fn_V > 1,18, \quad (2)$$

где Fn_V - число Фруда по водоизмещению V .

Число Фруда по водоизмещению было использовано Г.Е. Павленко для введения понятий о режимах быстроходности, принятых в отечественном судостроении [4,5]. Из выражения (2) следует, что скоростными являются суда, способные развивать скорости хода, начиная с переходного режима движения.

Современные скоростные суда можно разделить на две основных группы по концептуальному подходу к решению проблемы повышения скорости хода. К первой группе относятся суда с динамическими принципами поддержания (СДПП), такие как суда на подводных крыльях (СПК), суда на воздушной подушке (СВП), экранопланы и др. Из общих принципов гидродинамики для повышения скоростей движения СДПП использованы методы направленного воздействия на плотность среды и смоченную поверхность СС. Инженерные решения были основаны на инновационных принципах гидродинамики: изменении физических констант среды вблизи от движущегося днища

судна, а также на подъеме из воды в воздух части или всего корпуса судна. Такой концептуальный подход был эффективным, но инженерные решения оказались достаточно сложными. Определенные проблемы возникли и при эксплуатации СДПП.

В проектировании и строительстве СДПП российским судостроением достигнуты наиболее существенные практические результаты, признанные во всем мире. Отечественные СС, особенно СПК, завоевали многие зарубежные рынки.

Вторая группа СС включает суда переходного режима движения по свободной поверхности воды, без отрыва от нее. С ростом скорости судов в переходном режиме движения происходит перераспределение составляющих сопротивления воды движению и возрастание волнового сопротивления судна. Суда переходного режима (СПР) сталкиваются с волновым барьером, возникающим вблизи так называемой критической скорости.

Волновой барьер характеризуется резким усилением корабельной волновой системы и волнового сопротивления. При движении СПР вблизи критической скорости увеличиваются затраты энергии, а корабельная волновая система оказывает неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Преодоление волнового барьера СПР и переход в область сверхкритических скоростей требует решения достаточно сложных задач гидродинамики корабля.

Во второй половине прошлого века в СССР был выполнен цикл проектно-исследовательских работ по созданию сверхкритических судов для повышения скоростей перевозок пассажиров по внутренним водным путям страны [6,7]. Уже в то время были получены результаты, свидетельствующие о перспективности создания многокорпусных СПР. Теоретические и экспериментальные исследования гидродинамики многокорпусных судов (МС) выявили ряд важных гидродинамических эффектов, обеспечивающих повышение скорости СПР.

При проектировании МС возможна реализация нескольких положительных гидродинамических эффектов, обеспечивающих как снижение высот вызываемых судном корабельных волн, так и волновой составляющей сопротивления воды движению. Принципиальные особенности МС связаны с разделением подводной части судна на несколько (два и более) корпусов, объединенных в надводной части общей платформой. Эти особенности МС позволяют принять следующие проектные решения:

- спроектировать корпуса с большой относительной длиной;
- сдвинуть корпуса относительно друг друга в продольном направлении для обеспечения благоприятной интерференции корабельных волновых систем, возникающих при движении каждого из корпусов судна (рис.1);

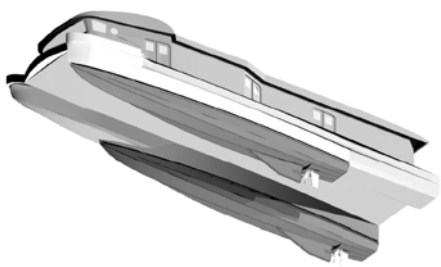


Рис.1. Катамаран со сдвинутыми в продольном направлении подводными корпусами

- придать корпусу в подводной части необычную форму, например, с большим заглублением водоизмещающей части под свободную поверхность воды (придать форму, близкую к телу вращения, вблизи основной плоскости) и минимальной площадью действующей ватерлинии (рис.2);



Рис.2. Катамаран с малой площадью ватерлинии и гондолами вблизи основной плоскости

- разместить различные средства динамической разгрузки между корпусами, например, подводные крылья (рис.3) и др.



Рис.3. Катамаран с носовым подводным крылом между корпусами

Практика мирового судостроения последних лет подтвердила перспективность проектирования СПР. К сожалению, теоретические и экспериментальные исследования второй половины прошлого века, выполненные в СССР, нашли ограниченное практическое применение в нашей стране. К настоящему времени в России построено несколько скоростных катамаранов. В то же время в разных странах мира проектируются, строятся и эксплуатируются МС

различного типа и назначения: катамараны, тримараны, квадримараны, пентамараны [8]. Проектирование современных МС представляет яркий пример инновационного проектирования. Оно открывает новые возможности в создании скоростных судов, как для внутреннего, так и для внешнего рынков.

2. Инновационное проектирование

Использование закономерностей гидродинамики корабля при разработке проектов СС открывает новые пути к совершенствованию архитектурно-конструктивных типов СПР. Проектирование СС на базе новой концепции можно отнести к инновационному проектированию, реализующему комбинаторные или модифицирующие инновации [9]. Комбинаторные инновации определяют новое сочетание уже известных элементов. Они могут быть направлены на привлечение новых групп потребителей или освоение новых рынков. Модифицирующие инновации направлены на улучшение или расширение сферы применения существующих судов. Они усиливают позиции проектных организаций.

Оценка технических и коммерческих выгод на ранних стадиях проектирования важна для повышения эффективности инвестиций в проект СС. Поэтому система предварительной оценки инноваций должна включать соответственно техническую и коммерческую составляющие. Инновационные принципы проектирования увязывают техническую и коммерческую составляющие.

Термин «инновационное проектирование» в последние годы стал использоваться и пропагандироваться ведущими судостроительными фирмами мира и их руководителями [10].

Для достижения успеха в проектировании судов, в том числе и скоростных, необходимо вносить в проект элемент творчества и новизны. Простое использование статистической информации, прототипов не приведет к принципиально новому техническому решению.

С позиций методологии творческий процесс при проектировании судна начинается с постановки задачи, признания наличия проблем и возможности их решения. На всех этапах инновационного проектирования система оценок включает техническую и коммерческую составляющие. Техническая состоит в понимании того, будет ли работать проектируемый объект на основе данной идеи, насколько эффективно и соответствует ли он техническим требованиям заказчика. Должна быть обеспечена безопасность эксплуатации, удовлетворение требованиям классификационных обществ. Как правило, возникает необходимость экспериментальной проверки новых технических решений с помощью модельного эксперимента.

Коммерческая оценка инновационного проекта включает экономическую эффективность СС, создаваемого на основе заложенной идеи и возможные риски на пути реализации судна.

Источники новых идей могут базироваться на результатах фундаментальных исследова-

ний, научно-техническом потенциале проектной организации, материалах конференций и симпозиумов, материалах специальной периодической печати, патентном поиске, анализе результатов натурных испытаний и опытной эксплуатации СС близкого назначения. Важен также анализ информации, полученной от плавсостава.

В настоящее время в мировом судостроении проводится инновационное проектирование СС различного назначения, в том числе и СПР с использованием многокорпусных схем. Среди СПР широкое распространение получили катамараны. Проводятся проектно-исследовательские работы по созданию трехкорпусных судов - тримаранов. Все большее количество тримаранов строится и эксплуатируется.

В 1980-х -1990-х годах начались проектные проработки четырехкорпусных судов – квадримаранов [8]. Так, например, разрабатывавшийся с 1990-х годов в США инновационный проект квадримарана SLICE иллюстрирует характерное свойство многокорпусных судов, заключающееся в обособлении подводной и надводной частей судна. Система специально спроектированных и особым образом расположенных друг относительно друга корпусов в подводной части судна объединена одной общей платформой, образующей надводную часть судна типа SLICE (рис.4).

В подводной части реализована необычная форма корпусов, обеспечившая заглубление большей водоизмещающей части корпусов под свободную поверхность воды. Минимизированы площади действующих ватерлиний подводных корпусов.

Возможности многокорпусных схем (с числом корпусов три и более) пока еще только начинают практически использоваться. Пример инновационного проекта четырехкорпусного судна (квадримарана) “Sea Slice” (рис. 4) демонстрирует возможность сочетания конструктивных различных решений.



Рис.4. Инновационный проект квадримарана SLICE

Это МС можно рассматривать как гибридный вариант. Комбинаторное инновационное решение включает использование погруженных корпусов, близких к конгруэнтным. Схема может рассматриваться как оригинальное применение

схемы катамарана с продольным сдвигом корпусов для обеспечения благоприятной интерференции волновых систем. При таком продольном сдвиге каждой пары корпусов четырехкорпусная схема позволила создать судно, симметричное относительно диаметральной плоскости. Четыре укороченных корпуса по сравнению с двухкорпусным судном с малой площадью ватерлинии (СМПВ) показывают стремление проектанта к снижению смоченной поверхности судна за счет использования специальных форм погруженных корпусов.

Фирмой Lockheed Martin Corp. были спроектированы по такой многокорпусной схеме, и по проекту фирмы построены два судна, переданные заказчику в сентябре 2006г, Lider и Tenaz [11]. Представление о построенных судах дает рис.5, на котором показано судно Lider.

Суда предназначены для перевозки обслуживающего персонала нефтедобывающих платформ в Мексиканском заливе.

Суда продемонстрировали высокие мореходные качества, а большая ширина надводной платформы (отношение длины к ширине в надводной части судна меньше двух) обеспечила удобное расположение 150 перевозимых пассажиров. Суда длиной около 29м и шириной около 16м при суммарной мощности энергетической установки 2650 квт развивают скорость хода 20 узлов и незначительно теряют скорость с увеличением волнения моря. Суда типа “Sea Slice” - яркий пример инновационного проектирования.



Рис.5. Скоростное судно Lider – квадримаран для перевозки обслуживающего персонала нефтедобывающих платформ

Систематизация и анализ характеристик СПР, а также накопленный в нашей стране опыт научных исследований, проектирования и строительства СС различного назначения открывают новые возможности для реализации инновационных принципов проектирования современных конкурентоспособных на мировом рынке скоростных судов.

3. Скоростные суда переходного режима

Среди скоростных судов переходного режима движения наибольшее распространение получили катамараны. В последние годы все больший интерес проявляют к трехкорпусным судам – тримаранам.

Пассажирский паром – тримаран показан на рис. 6.

Представление о СПР – тримаранах также дают проектные проработки, выполненные в Англии [12]. В табл.1 приведены данные работы [12]. Для сокращения в таблице приняты обозначения: Т – тримаран (судно как единое целое), ГК – главный центральный корпус, БК – боковой корпус – аутригер.



Рис.6. Пассажирский паром – тримаран
Таблица 1.

Проекты судов - тримаранов и их основные проектные характеристики

№ п.п.	1 Большой паром	2 Канадский паром	3 Скоростной паром
Т			
$D, \text{т}$	7093	1350	1130
$V, \text{м}^3$	6920	1317	1102
$L_{\text{нб}}, \text{м}$	178	120	105
$B_{\text{нб}}, \text{м}$	35	25,0	19,2
$H, \text{м}$	14,5	8,0	8,5
$\Sigma P_s, \text{кВт}$	52000	20000	2000
$v_{\text{max}}, \text{уз-лы}$	28	36	38
ГК			
$L_{\text{WL}}, \text{м}$	173	115	99
$B_{\text{WL}}, \text{м}$	12,75	6,5	6,8
Т, м	6	3,2	3,4
БК			
$D_2 \text{ в \% от } D$	5,35	3,8	4,0
$L_{\text{WL}}, \text{м}$			
$B_{\text{WL}}, \text{м}$	70	30	35

Т, м	3,0	2	1,5
	3,4	1,5	2,0

В табл.1 использованы традиционные обозначения величин: D - массовое водоизмещение;

$L_{\text{нб}}, \text{м}$ – наибольшая длина; $B_{\text{нб}}, \text{м}$ – наибольшая ширина;

$H, \text{м}$ – высота борта; ΣP_s - суммарная мощность энергетической установки;

v_{max} - максимальная скорость хода; T – осадка. Приведены основные проектные характеристики для судна в целом и для его подводных корпусов. Эти данные позволяют провести анализ мореходных качеств как судна в целом, так и каждого из его подводных корпусов.

Проектирование тримарана сложнее, чем однокорпусного судна, но обеспечивает ему повышенные мореходные и эксплуатационные качества.

Заключение

Рассмотрены инновационные принципы проектирования СС. Отмечена важность их использования при проектировании СПР, развитие которых происходит в последние годы в мировом судостроении. Развитие этого направления судостроения представляет интерес не только для совершенствования отечественного флота, но и для выхода с такими типами судов на внешние рынки. Сформулированы основные направления разработки инновационных проектов СС с использованием многокорпусных схем. Отмечено, что теоретическое и экспериментальное обоснование СПР было выполнено в нашей стране. Его целесообразно продолжить. Сочетание таких исследований с успешно реализованными в отечественном судостроении ранее принципами динамического поддержания и частичной динамической разгрузки даст новый импульс отечественному судостроению.

Литература

1. Бендиков М.А., Фролов И.Э. Тенденции развития высокотехнологического сектора российской промышленности. Государственно-частное партнерство в инновационных системах. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 113-131.
2. Терский М.В. и др. Морской транспорт России на фоне мировых тенденций. М.: Современная экономика и право, 2008.
3. Перспективы развития морской техники. Морской флот 2008. №3.51.
4. Павленко Г.Е. Глиссирование. Избранные труды. Киев: Наукова Думка, 1978. 233-275.

5. Lyakhovitsky A.G. Influence of the Ship Hydrodynamics on Development of the High-Speed Vessels of the Transient-Regime of Motions. Transactions of the Third International Conference CRF-96. Vol.2. St. Petersburg: Russia, 1996.432-441.
6. Басин А.М., Ляховицкий А.Г. Водоизмещающие речные суда со сверхкритическими скоростями. Судостроение 1972. №7. 12-15.
7. Lyakhovitsky A.G. Shallow Water and Supercritical Ships. Fair Lawn, NJ, USA: Backbone Publishing Co., 2007
8. Ляховицкий А.Г., Ёин Тхун. Скоростные пассажирские суда: проектные характеристики и тенденции развития. Морской вестник 2008. №2 (26). 19-22.
9. Балдин К.В., Барышева А.В., Ищенко М.М. и др. Инновационный менеджмент. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К⁰», 2007.
10. Levander K. Innovative Ship Design. Athens, Greece: Proc. Of the 8th International Marine Design Conference, 2003.
11. Hardberger M. Water Slicers. WorkBoat. October 2006. 64-66.
12. Anon. The trimaran frigate concept evolves. The Naval Architect, Januar, 1996, p.54-55.

References

1. Bendicov M.A., Frolov I.E. Tendenzii razvitiya visokotechnologicheskogo sektora rossiyskoy promishlennosti. Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo v innovazionnich sistemach. M.: izdatelstvo LKI. 2008. S 113 – 131.
2. Tersky M.W. i dr. Morskoy transport Rossii na fone mirovich tendency. M.: Sovremennaya economica i pravo. 2008.
3. Perspektivi razvitiya morskoi tehniki. Morskoy flot. 2008. №3.
4. Pavlenko G.E. Glissirovanie. Izbrannie trudi. Kiev: Naukova Dumka. 1978. S 233 – 275.
5. Lyakhovitsky A.G. Influence of the Ship Hydrodynamics on Development of the High-Speed Vessels of the Transient-Regime of Motions. Transactions of the Third International Conference CRF-96. Vol.2. St. Petersburg: Russia, 1996.432-441.
6. Basin A.M., Lyakhovitsky A.G. Vodoizmeshchayushii rechnie suda so sverchkriticheskimi skorostyami . Sudostroenie. 1972. №7. S 12-15.
7. Lyakhovitsky A.G. Shallow Water and Supercritical Ships. Fair Lawn, NJ, USA: Backbone Publishing Co., 2007.
8. Lyakhovitsky A.G., Yin Tchun. Skorostnie passachirskie suda: proektnie charakteristiki i tendenzii razvitiya . Morskoy vestnik. . 2008. №2 (26). S 19-22.
9. Baldin K.V., Barisheva A.V., Ischenko M.M i dr. Innovazionni menedchment. M.: Izdatelsko – torgovaya korporaziya “Dashkov i K” , 2007.
10. Levander K. Innovative Ship Design. Athens, Greece: Proc. Of the 8th International Marine Design Conference. 2003.
11. Hardberger M. Water Slicers. WorkBoat. October 2006. 64-66.
12. Anon. The trimaran frigate concept evolves. The Naval Architect, Januar, 1996, p.54-55.

Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)

УДК [533.6+519.6]:62.-135.2

МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В РАСЧЕТАХ ОБТЕКАНИЯ ПРОФИЛЕЙ ОСЕВЫХ ТУРБИН

Левенталь Михаил Юрьевич

аспирант, магистр техники и технологий

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

190121, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3

e-mail: Levental-30@rambler.ru

Аннотация

В работе проведен сравнительный анализ шести моделей турбулентности применительно к расчетам обтекания решеток профилей осевых турбин. В связи с ростом количества и качества моделей турбулентного течения на сегодняшний день сложно выбрать наиболее подходящую из них. Необходим детальный сравнительный анализ результатов расчета по каждой из моделей. С целью выявления отличий в расчётах параметров потока и отклонений в профильных потерях энергии выполнено численное моделирование трех решеток профилей различной геометрии. Использован программный комплекс для расчетов газодинамики ANSYS Fluent. Получены величины отклонений в профильных потерях и скоростях потока в различных зонах межлопаточного канала для ряда дозвуковых и трансзвуковых режимов течений. Наиболее существенная разница выявлена в аэродинамическом следе за лопаткой, в скачках давления, в зонах отрыва потока от стенки и вихреобразования.

Ключевые слова: Турбина, лопатка, профиль, течение, турбулентность, модель, скорость, потери, отклонение.

TURBULENCE MODELS FOR FLOW CALCULATION IN AXIAL TURBINE ROWS

Levental Mikhail Yurevich

the postgraduate, MSc. Engineering & Technologies

STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG

Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190121, Russian Federation

e-mail: Levental-30@rambler.ru

Abstract

In the paper the comparison analysis of six turbulence models for flow calculation in rows aerodynamics of axial turbines was considered. Nowadays, because of increasing the quantity and quality of turbulence models is difficult to choose most suitable of them. We need an in-depth comparative analysis of the calculation results for each of the models. In order to identify differences in calculations of flow parameters and deviations in the profile losses the numerical simulation of three turbine rows with various geometry was performed. ANSYS Fluent CFD software was used. Deviations in the calculation of profile losses and stream velocities in the different points of turbine rows for subsonic, transonic and hypersonic regimes were determined. The most significant difference between models was found in trailing vortex, static pressure jumps and flow separation from wall.

Key words: Turbine, blade, profile, flow, turbulence, models, velocity, losses, deviation.

Введение

Моделирование турбулентных течений сегодня находится на достаточно высоком уровне. В нашем распоряжении имеются возможности, как для прямого численного моделирования турбу-

лентности, так и применения осредненных уравнений Навье-Стокса дополненных моделью турбулентности. Первый подход занимает огромное количество временных и компьютерных ресурсов, в инженерной практике применяется редко и под-

ходит только для течений с низкими числами Рейнольдса. Второй более практичный и широко применяется во многих научно-исследовательских организациях. Существует большое количество моделей турбулентности, отличие которых заключается в определении тензора напряжений Рейнольдса. Основная сложность состоит в разрешении пограничного слоя. Для этого одни модели используют специальные пристеночные функции, другие решают его напрямую, с включением дополнительных подмоделей. Однако вряд ли возможно найти такую модель турбулентности, которая была применима ко всему многообразию задач газодинамики.

В турбомашиностроении наиболее распространены модели вихревой вязкости k- ω SST (Shear Stress Transport) и k- ϵ realizable и модель напряжений Рейнольдса (RSM). В открытой литературе имеется множество публикаций по исследованию течения в межлопаточных каналах с применением данных моделей. Однако практические рекомендации публикуемых исследований часто бывает невозможно применить к расчету другого профиля лопатки отличной геометрии и режима течения, так как условия расчета не соответствуют между собой. В открытом доступе практически отсутствуют сравнительные данные по расчетам обтекания решеток профилей осевых турбин с различной геометрией в широком диапазоне режимов по числу Маха и с подробным количественным анализом параметров течения в расчетной области, выполненных при идентичных граничных условиях и настройках решения. Таким образом, сложно выделить схожие и отличающие свойства в различных моделях турбулентности.

В данной работе ставится задача сравнить несколько моделей турбулентности с целью определения отличий в результатах расчетов параметров потока и профильных потерь энергии.

1. Исходные данные

Исследуемые модели турбулентности приведены в таблице 1. Для численного эксперимента выбрано три турбинные решетки профилей различной геометрии (табл. 2 и рис. 1, решетки расположены в порядке возрастания угла поворота ϵ) для режимов течения от 0.35 до 1.5 по числу Маха.

Выполнено численное моделирование данных решеток в программном комплексе ANSYS FLUENT. Использован сопряженный решатель по плотности (в неявной постановке) со вторым порядком дискретизации. В пристеночной области применена гексаэдральная расчетная сетка, в межлопаточном канале - тетраэдральная. Пристеночный параметр $y^+ < 1$, интенсивность турбулентности на входе 1...2%, невязка по уравнению энергии порядка 10^{-6} . Входная и выходная границы расчетной области расположены на расстоянии двух хорд от исследуемого профиля. Информация по решеткам 1 и 2 получена из [1], для решетки 3 - из [2].

Таблица 1

Модели турбулентности

N/N	Модель	Опции
1.	Spalart - Allmaras	Vorticity-Based
2.	k- ϵ realizable	Enhanced wall treatment
3.	k- ω SST	Compressibility effects
4.	Transition k-kl- ω	-
5.	Transition SST	-
6.	Reynolds stress model	Linear Pressure-Strain, Reynolds Stress option, Enhanced wall treatment

Таблица 2

Геометрические параметры решеток профилей

N/N	ϵ	d2/ar2	$\beta 2\epsilon\phi$	t/b	ar1/ar2	Cmax/b
1.	69.0	0.092	19.90	0.69	2.265	0.209
2.	75.7	0.150	16.94	0.65	3.180	0.194
3.	123.0	0.094	26.11	0.59	1.310	0.380

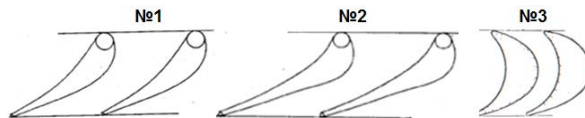


Рис. 1. Решетки профилей

2. Анализ результатов расчетов

На рисунках 2–4 представлены графики распределения приведенной скорости вдоль профиля для трех решеток на выборочных режимах течения по адиабатической скорости на выходе ($\lambda_{ад2}$).

Далее для удобства сравнения результаты расчета с различными моделями турбулентности отнесены к результатам, полученным по расчету с моделью №6 (RSM, выбор случайный).

На рисунке 5 приведена схема характерных точек для анализа скоростей. На рисунках 6, 7 и 8 представлены графики зависимости отклонений скоростей (числа Маха, формула 1) в точках 3, 4 и 7 от режима течения по $\lambda_{ад2}$.

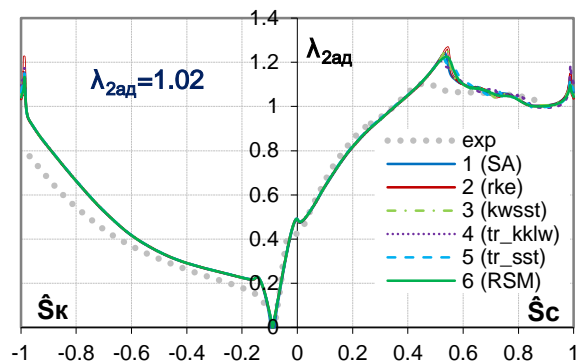


Рис. 2. Скорость по профилю решетки 1

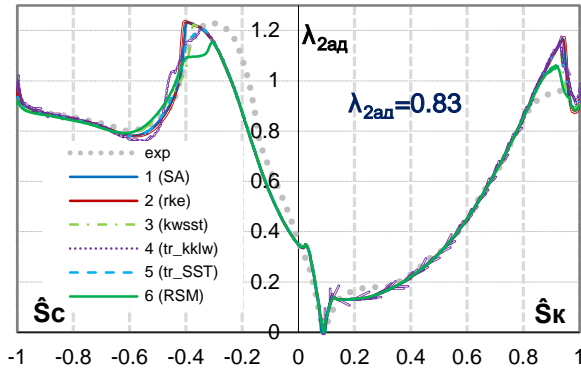


Рис. 3. Скорость по профилю решетки 2

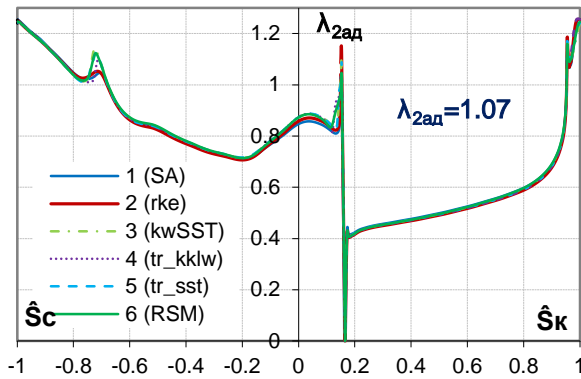


Рис. 4. Скорость по профилю решетки 3

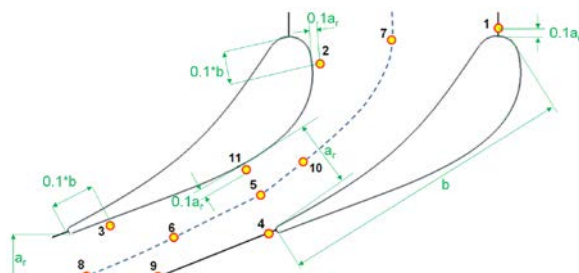


Рис. 5. Схема для анализа скоростей

$$\dot{M} = \left(\frac{M_i}{M_{RSM}} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (1)$$

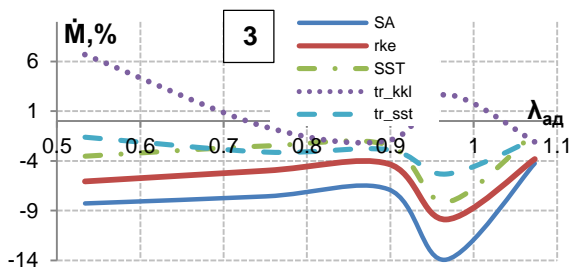


Рис. 6. Отклонения чисел Маха в точке 3 (решетка 3)

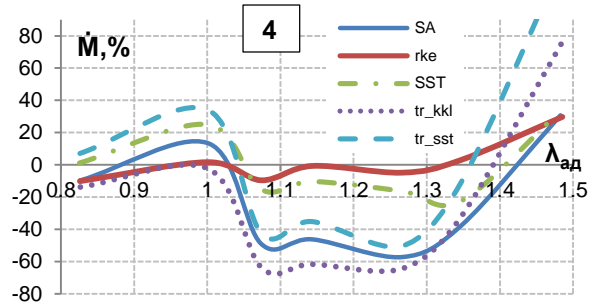


Рис. 7. Отклонения чисел Маха в точке 4 (решетка 2)

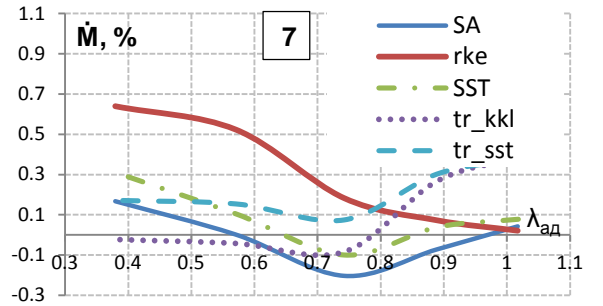


Рис. 8. Отклонения чисел Маха в точке 7 (решетка 1)

На рисунке 9 приведены зависимости отклонений (формула 2) интегральных профильных потерь от $\lambda_{ад2}$ относительно модели №6 для решетки №2. Необходимые интегральные значения до решетки и за ней определялись на расстоянии горла. Статическое давление осреднялось по площади, остальные параметры-по расходу.

$$\zeta_{np} = \left(\frac{\zeta_i}{\zeta_{RSM}} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (2)$$

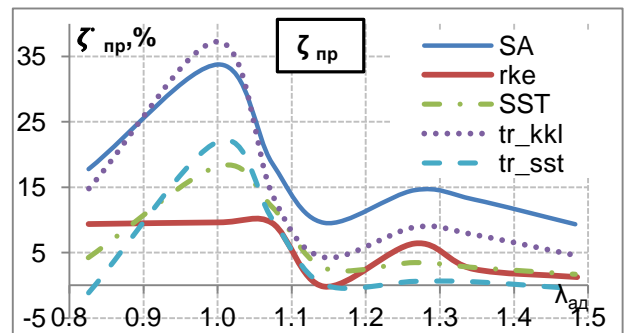


Рис. 9. Отклонения профильных потерь (решетка 2)

На рисунках 10, 11, и 12 представлены зависимости интегральных профильных потерь (абсолютные значения) и экспериментальные данные.

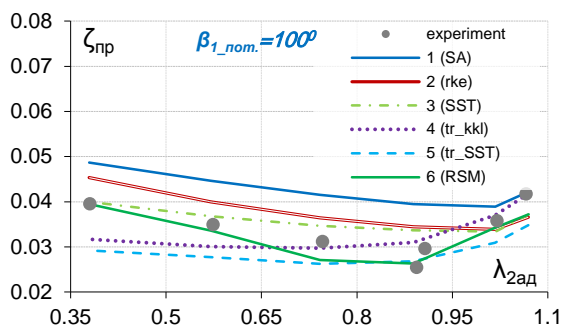


Рис. 10. Профильные потери (решетка 1)

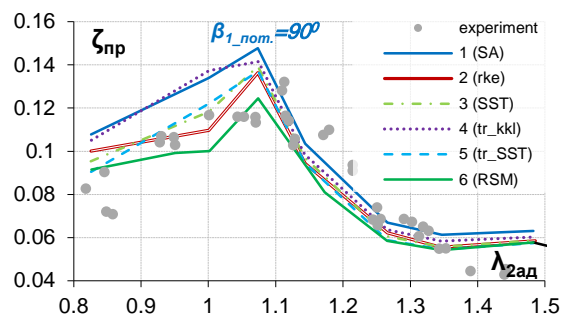


Рис. 11. Профильные потери (решетка 2)

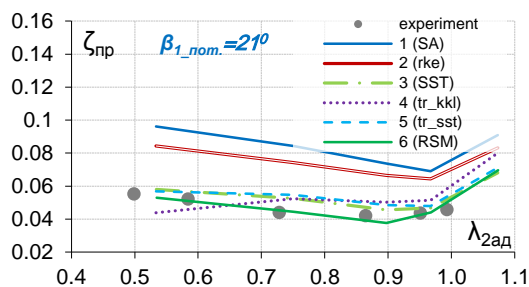


Рис. 12. Профильные потери (решетка 3)

3. Выводы

- скорости, рассчитанные по разным моделям в ядре потока по всему каналу при отсутствии скачков уплотнения и до горла канала при наличии скачков (точки 1,2,7,10) по всем моделям отличается слабо, и не превышает 5 %.

- разница скоростей в пограничном слое, скачках уплотнения, закрочном следе и косом срезе варьируется от 10 до 100 %.

- отличие в профильных потерях на режимах $\lambda_{2ад} < 1,1$ составляет от 5% до 100% в зависимости от модели турбулентности и режима обтекания. Для режимов $\lambda_{2ад} > 1,1$ менее 15% (решетка №2) по всем моделям.

Заключение

Рассмотренные выше модели турбулентности слабо отличаются между собой при расчете распределения скоростей в канале. Исключения составляют особые зоны, такие как закрочные следы, скачки давления, области отрыва потока и т.д., которые весьма сложно поддаются численному моделированию. При этом, несмотря на незначительные отличия в целом по числам Маха (скоростям), профильные потери и их отклонения от эксперимента отличаются достаточно сильно. Из полученных результатов можно видеть, что модели турбулентности №3 и №6 наиболее близки к эксперименту, однако чтобы выявить подходящую модель для турбинных решеток необходим анализ большего количества профилей различной геометрии на различных режимах включая ненулевые углы атаки.

Литература

1. Венедиктов В. Д., Грановский А.В., Карелин А.М., Колесов А.Н., Мухтаров М.Х. Атлас экспериментальных характеристик плоских решеток охлаждаемых газовых турбин. М.: ЦИАМ, 1990.
2. Дейч, М.Е., Самойлович, Г.С. Основы аэродинамики осевых турбомашин. М.: Машиностроение, 1959.
3. Снигирев А.Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений: Учеб. Пособие. СПб.: Изд. Политехн. Ун., 2009. 143 с.
4. Гостелу Дж. Аэродинамика решеток турбомашин: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 392 с.
5. Wilcox D.C. "Turbulence Modeling for CFD", 1998.

References

1. Venedictov V.D., Granovskij A.V., Karelin A.M., Kolesov A.N., Mukhtarov M.Kh. Atlas Jeksperimental'nykh kharakteristik ploskikh reshetok okhlazhdaemykh gazovykh turbin. M.: CIAM, 1990.
2. Dejch, M.E., Samojlovich, G.S. Osnovy ajerodinamiki osevykh turbomashin. M.: Mashinostroenie, 1959.
3. Snigirev A.Yu. Vysokoproizvoditel'nye vychisleniya v tekhnicheskoy fizike. Chislennoe modelirovanie turbulentykh techenij: Ucheb. Posobie. SPb.: Izd. Politekh. Un., 2009. 143 p.
4. Gostelou Dzh. Ajerodinamika reshetok turbopashin: Per. s angl. M.: Mir, 1989. 392 p.
5. Wilcox D.C. "Turbulence Modeling for CFD", 1998.

**Физические поля корабля, океана, атмосферы
и их взаимодействие**

УДК 534.23

**ВЛИЯНИЕ ДИССИПАЦИИ ЭНЕРГИИ В АКУСТИЧЕСКОМ
ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ НА КОЭФФИЦИЕНТ ОТРАЖЕНИЯ
ПЛОСКОЙ ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ ОТ ГРАНИЦЫ ГАЗ-
ЖИДКОСТЬ**

Легуша Федор Федорович

доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры физики СПбГМТУ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3

Мусакаев Махмуд Абдурашидович

кандидат физико-математических наук,
ст. преподаватель

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3

e-mail: maogan@mail.ru tel: (812) 757-10-55

Попков Сергей Владимирович

Доктор технических наук, снс,

Начальник лаборатории ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

196158 г. Санкт-Петербург, Московское шоссе д. 44

Ткаченко Игорь Вячеславович

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры ГАММА СПбГМТУ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3

Аннотация

В работе представлена методика расчета коэффициентов отражения звуковых волн по давлению и их фазовых сдвигов от границы раздела газ-жидкость. На примере расчета коэффициентов отражения и фазовых сдвигов звуковых волн, распространяющихся в воздухе и отражающихся от поверхности воды показано, что данную методику расчета целесообразно применять на низких частотах. На частотах $f > 60$ кГц поверхность любой жидкости ведет себя как твердая абсолютно теплопроводная поверхность. При углах падения $\theta \geq \theta_{кр}$ значения модуля коэффициента отражения меньше единицы. При дальнейшем увеличении угла падения модуль коэффициента отражения уменьшается. При углах падения близких $\pi/2$ с ростом частоты значения модуля коэффициента отражения достигают минимума, величина которого стремится к $|R| = 0,4142$. На этих частотах можно использовать теорию Б.П. Константинова. Предложенную нами методику можно использовать и в случае границы газ-твердое тело. Наиболее эффективно методика работает, если вещество твердого тела имеет $\rho c < 10^6$ кг/м²·с.

Ключевые слова: Фазовый сдвиг, звуковая волна, коэффициент отражения, поверхность жидкости, диссипация энергии, полупространство, входной импеданс, граница раздела, вязкие волны, тепловые волны, акустически мягкая среда.

**INFLUENCE OF ACOUSTIC BOUNDARY LAYER ENERGY
DISSIPATION ON COEFFICIENT OF PLAIN ACOUSTIC WAVE
REFLECTION FROM GAS-LIQUID BOUNDARY**

Legusha Fedor Fedorovich

the professor, Dr.Sci.Phys.-Math.

STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF ST. PETERSBURG

3, Lotsmanskaya Str., St.Petersburg, 190008 Russia

Musakaev Makhmud Abdurashidovich

Cand. Sci.Phys.-Math, the teacher

STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF ST. PETERSBURG
 3, Lotsmanskaya Str., St.Petersburg, 190008 Russia
 e-mail: maogan@mail.ru tel: (812) 757-10-55
Popkov Sergey Vladimirovich
 senior researcher, Dr.Sci.Tec. Head of laboratory,
 Krylovskiy state scientific center
 196158 St. Petersburg, Moskovskoe shosse 44
 Tkachenko Igor Vyacheslavovich
 the professor, Dr.Sci.Tec., the professor
 STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF ST. PETERSBURG
 3, Lotsmanskaya Str., St.Petersburg, 190008 Russia

Abstract

The work presents calculation technique for pressure reflection coefficients of acoustic waves at gas-liquid interface and their phase shifts. Calculation example of reflection coefficients and phase shifts of acoustic waves propagating in air and reflecting from water surface indicates that this calculation technique is expedient for low frequencies. At frequencies $f > 60$ kHz the surface of any liquid behaves as firm and absolutely heat-conducting surface. At the angle of incidence $\theta \geq \theta_{cr}$ the reflection coefficient modulus is less than unit. As the angle of incidence increases further, the reflection coefficient modulus decreases. At the angles of incidence close to $\pi/2$ with frequency rise, the value of reflection coefficient modulus reaches minimum approaching $|R| = 0.4142$. At these frequencies, it is possible to use B. P. Konstantinov's theory. The calculating technique we proposed can be also used for gas - solid body interface. The technique is most effective if solid body substance has $\rho c < 10^6$ kg/m².s.

Keywords: Phase shift, acoustic wave, reflection coefficient, liquid surface, energy dissipation, half-space, input impedance, interface, viscous waves, thermal waves, acoustically soft medium.

Введение

При взаимодействии плоской гармонической звуковой волны с границей раздела жидких полупространств возникает отраженная волна. Коэффициент отражения волны без учёта поглощения звука в акустическом пограничном слое (АПС) можно рассчитать при помощи известной методики [1].

Используя методику, разработанную Б.П. Константиновым [2,3], Ф.Ф. Лёгуша произвел расчеты параметров акустического поля, возникающего при взаимодействии звуковой волны с плоской границей раздела жидких полупространств с учетом диссипации акустической энергии в АПС границы [4-7]. При этом было показано, что АПС влияет не только на величину модуля коэффициента отражения $|R|$, но и на его фазовые характеристики.

На практике часто встречается ситуация, когда звуковые волны, распространяющиеся в воздухе или в газе, взаимодействуют с поверхностью жидкости. В этом случае на границе раздела наблюдается очень большой скачок акустического импеданса и методика расчета параметров результирующего акустического поля, представленная в работах [4-7], может быть значительно упрощена. Для расчета параметров поля может быть использована классическая методика [1], в которой влияние АПС учитывается специальной записью формулы для входного импеданса границы раздела газ-жидкость, полученной в статье [8].

1. Постановка задачи

Пусть гармоническая звуковая волна p_1 , имеющая плоский бесконечный фронт, падает на поверхность, разделяющую два полупространства (рис. 1). Поверхность является гладкой и бесконечной. Первое полупространство заполнено газом или паром умеренной плотности. Второе полупространство является жидкой средой. Среды, заполняющие полупространства, имеют произвольные наборы физических параметров.

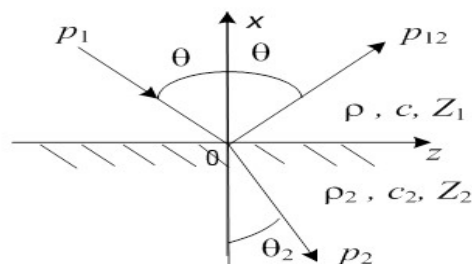


Рис. 1 Схема взаимодействия гармонической звуковой волны с плоской границей жидких полупространств p_1 , p_{12} и p_2 – соответственно падающая, отраженная и преломленная волны

Классическое решение этой задачи известно, с ним, например, можно ознакомиться в книге [1]. По этой причине мы можем сразу написать выражение для расчета коэффициента отражения звуковой волны по давлению

$$R = \frac{Z_{ex} - Z_1}{Z_{ex} + Z_1}, \quad (1)$$

где Z_{ex} – входной импеданс системы в плоскости $x = 0$; $Z_1 = \rho c / \cos \theta$; ρ и c – плотность и скорость звука в первой среде; θ – угол падения звуковой волны.

Формула (1) универсальна. Её можно использовать для расчетов коэффициентов отражения любой системы плоских жидких слоев [1]. Таким образом, величина коэффициентов отражения R и его характерные особенности полностью определяются формой записи импеданса Z_{ex} , в которой учитывается структура нижнего полупространства и физические процессы, возникающие на его поверхности с которой взаимодействует звуковая волна.

В классическом случае, когда не учитывается наличие акустического пограничного слоя (АПС) на поверхности жидкого полупространства, входной импеданс системы имеет вид

$$Z_2 = \rho_2 c_2 / \cos \theta_2, \quad (2)$$

где ρ_2 и c_2 – плотность и скорость звука во второй среде; θ_2 – угол преломления звуковой волны.

Рассмотрим наиболее важный с практической точки зрения случай, когда на границе раздела полупространств выполняется условие $c < c_2$. На границе наблюдается явление полного внутреннего отражения волны. При углах падения волны $\theta \geq \theta_{кр} = \arcsin(c/c_2)$, в формуле (2) $\cos \theta_2$ заменяется

$$\cos \theta'_2 = -i \sqrt{(c_2 \sin \theta / c)^2 - 1}.$$

2. Влияние диссипации энергии в АПС на входной импеданс системы

Нижнее полупространство (см. рис. 1) в общем случае может обладать любыми физическими свойствами. Если оно является твердым абсолютно теплопроводным телом, то импеданс такого тела рассчитан Б. П. Константиновым [2,3] и может быть записан в следующем виде

$$Z_k = \frac{(1-i)\rho c}{2m \cos \theta}, \quad (3)$$

где $m = (b_{11} + b_{21} \sin^2 \theta) / \cos \theta$,

$$b_{11} = (\gamma - 1) \sqrt{\omega a / 2c^2}, \quad b_{21} = \sqrt{\omega \nu / 2c^2}$$

$\omega = 2\pi f$ – частота звуковой волны,

$\gamma = C_p / C_v$ – постоянная адиабаты или коэффициент Пуассона, C_p и C_v – удельные теплоемкости среды при постоянном давлении и объеме,

$\nu = \eta / \rho$ – кинематическая вязкость,

$a = \chi / C_{pp}$ – температуропроводность, η – динамическая вязкость, χ – теплопроводность газа.

Выражение (3) получено с учетом того факта, что в результате взаимодействия звуковой волны с поверхностью абсолютно жесткого тела на этой поверхности возбуждаются неоднородные вязкие тепловые волны, формирующие АПС. Вязкие и тепловые волны являются сильно затухающими

волнами. Они могут существовать в пристеночном слое только за счет энергии отбираемой у звуковой волны. Входной импеданс абсолютно твердой теплопроводной поверхности является очень большой, но конечной величиной.

В формулу (3) входят только физические параметры газа, в котором возбуждаются и распространяются неоднородные вязкие и тепловые волны. В работах [4-7] показано, что при взаимодействии звуковой волны с плоской границей газ-жидкость выполняется неравенство $\rho c \ll \rho_2 c_2$, реализующее физические условия, при которых вязкие и тепловые волны возбуждаются только в акустически мягкой среде. Использование сходства условий формирования АПС вблизи абсолютно твердой поверхности и поверхности раздела границы газ-жидкость позволило получить выражение для расчета входного импеданса границы газ-жидкость [8]

$$Z_{ex} = \frac{Z_k Z_2}{Z_k + Z_2}. \quad (4)$$

3. Коэффициент отражения звуковой волны по давлению

Параметры акустического поля, возникающие при отражении звуковой волны от плоской границы раздела сред, полностью определяются величинами коэффициента отражения волны по давлению (1). Полученное нами [8] выражение (4) для расчета входного импеданса границы газ – жидкость, учитывающее диссипацию энергии в АПС, позволяет, к уже имеющимся вариантам расчета этих коэффициентов [1,2,3], добавить еще один. Произведем численное сопоставление различных вариантов расчета коэффициента отражения по давлению для случая взаимодействия звуковой волны, распространяющейся в газе и взаимодействующей с плоской поверхностью границы раздела сред. Расчеты проводим в соответствии со схемой, показанной на рис. 1. При этом мы полагаем, что первое полупространство заполнено воздухом, а второе – водой.

Применяя классическую методику расчета [1], нетрудно установить, что коэффициент отражения R_{kl} такой границы не зависит от частоты. Зависимость классического коэффициента отражения от угла падения звуковой волны θ определяется из выражения

$$R_{kl} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}. \quad (5)$$

Если подставить формулу (3) в выражение (1), то после несложных преобразований получим формулу для расчета коэффициента отражения волны по давлению от твердой абсолютно теплопроводной поверхности [2,3]

$$R_k = \frac{1 - (1+i)m}{1 + (1+i)m}. \quad (6)$$

Функция (6) имеет минимум при угле падения $\theta_m = \pi/2 - \sqrt{2}(b_{11} + b_{21})$. При $\theta = \theta_m$ величина

$|R| = 0,4142$ для любого значения частоты звуковой волны.

Влияние диссипации акустической энергии в АПС на величину входного импеданса поверхности раздела учтено при выводе формулы (4). Соответственно выражение для коэффициента отражения звуковой волны принимает вид

$$R_{BI} = \frac{Z_{ex} - Z_1}{Z_{ex} + Z_1}. \quad (7)$$

Результаты расчетов модулей коэффициентов отражения звуковой волны по давлению от угла

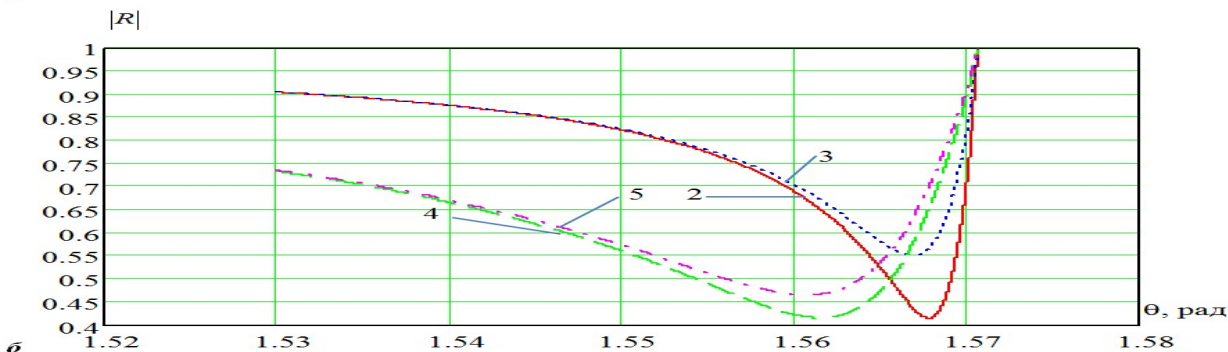
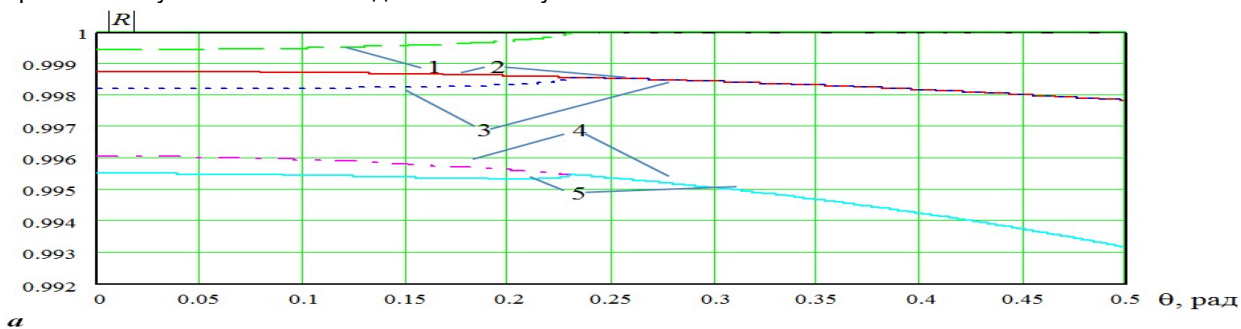


Рис. 2 Зависимость коэффициентов отражения звуковой волны от её угла падения: 1 – формула (5); 2 – формула (6), частота 5,0 кГц; 3 – формула (7), частота 5,0 кГц; 4 – формула (6), частота 50,0 кГц; 5 – формула (7), частота 50,0 кГц

Расчеты коэффициентов отражения звуковой волны от твердой абсолютно теплопроводной поверхности представлены кривыми 2 и 4 для частот 5,0 кГц и 50,0 кГц соответственно. Легко заметить, что с ростом частоты модуль коэффициента R_k уменьшается. При любых углах падения волны выполняется неравенство $|R_k| < |R_{kl}|$. По мере роста угла падения $|R_k|$ уменьшается и достигает значения $|R_{Kmin}| = 0,4142$ при $\theta = \theta_m$. Это хорошо видно на рис. 2, б, где представлены кривые 2 и 4 для углов падения волны близких к $\pi/2$.

Выражение (7) использовано для расчета коэффициента отражения волны с учетом поглощения звука в АПС жидкой поверхности (6). Результаты расчетов показаны на рис. 2, а и рис. 2, б. Кривая 3 получена для частоты 5,0 кГц, а кривая 5 для частоты 50,0 кГц. Из рис. 2, а видим, что при углах падения $\theta < \theta_{кр}$ $|R_{BI}| < |R_k|$. Это обусловлено тем, что входной импеданс Z_2 при

падения волны θ представлено на рис. 2. Расчеты проводим для границы воздух – вода. Параметры сред берем для статических значений давления $P_0 = 1,0$ атм и температуры $T_0 = 293$ К.

Как нетрудно заметить из рис. 2, а модуль классического коэффициента отражения $|R_{kl}| < 1$ при углах падения $\theta < \theta_{кр}$, а при $\theta \geq \theta_{кр}$ величина $|R_{kl}| = 1$ (см. кривую 1). Величина $|R_{kl}|$ не зависит от частоты.

$\theta < \theta_{кр}$ имеет конечные значения. При $\theta \geq \theta_{кр}$ обе кривых сливаются, и величина $|R_{BI}|$ монотонно убывает с ростом угла падения. При углах падения, близких к $\pi/2$, зависимости $|R_{BI}(\theta)|$ имеют минимум R_{min} , величина которого больше $|R_{Kmin}|$. Этот минимум наблюдается при углах падения $\theta_{mBI} < \theta_m$. Нетрудно видеть, что величина R_{min} уменьшается с ростом частоты и при $f \rightarrow \infty$ значения $R_{min} \rightarrow R_{Kmin}$.

3. Фазовый сдвиг отраженной звуковой волны

На высоких частотах (для поверхности воды $f > 60$ кГц) результаты расчетов произведенных с помощью формул (6) и (7) полностью совпадают. Следовательно, на высоких частотах поверхность жидкости ведет себя как твердая абсолютно теплопроводная поверхность. Коэффициент отражения (1) всегда можно записать в виде

$R = |R|e^{-i\varphi}$, где φ – фазовый сдвиг отраженной звуковой волны. Фазовый сдвиг определяется по отношению к падающей звуковой волны и в общем случае может быть рассчитано при помощи выражения

$$\varphi = \arctg(ImR/ReR). \quad (8)$$

В случае, когда звуковая волна отражается от твердой абсолютно теплопроводной поверхности для оценки величины фазового сдвига можно воспользоваться формулой Б.П. Константинова [2,3]

$$\varphi = \arctg(2m/(1-2m^2)). \quad (9)$$

Если звуковая волна отражается от поверхности жидкости необходимо воспользоваться формулой (8), в которой используется выражение для коэффициента отражения (7). Классический случай не интересен. Если в системе нет потерь,

то, согласно выражению (5), величина $ImR = 0$ и, следовательно, разность фаз между падающей и отраженной волнами равна нулю. Результаты расчетов угловых зависимостей фазовых сдвигов отраженных звуковых волн показаны на рис. 3. Расчеты проведены на частотах 5,0 кГц (кривые 2 и 3) и 50,0 кГц (кривые 4 и 5).

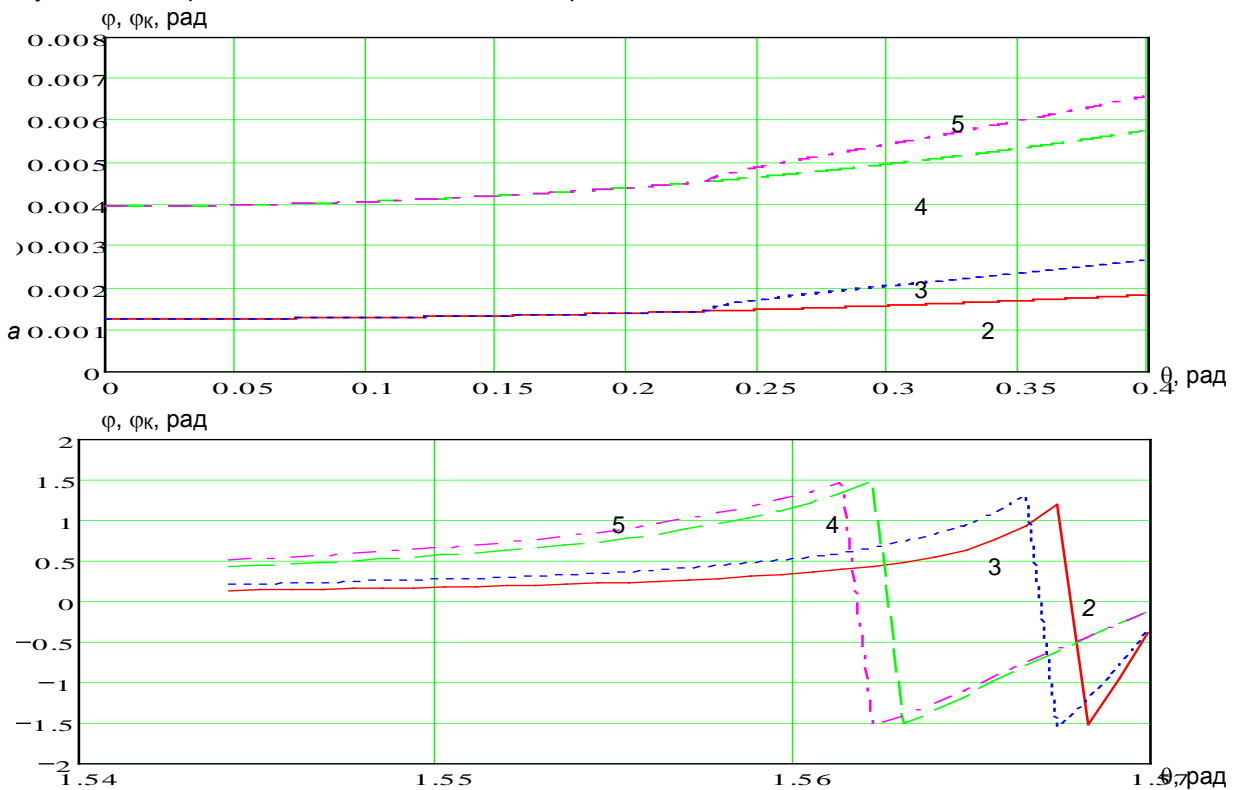


Рис. 3 Зависимость фазового сдвига звуковой волны от угла падения: 2 – формула (6), частота 5,0 кГц; 3 – формула (7), частота 5,0 кГц; 4 – формула (6), частота 50,0 кГц; 5 – формула (7), частота 50,0 кГц

Из рис. 3 а видно, что при углах падения $\theta < \theta_{кр}$ наличие потерь акустической энергии в АПС приводит к появлению незначительного фазового сдвига, величина которого не зависит от физических свойств вещества, образующего отражающую поверхность.

При углах падения $\theta \geq \theta_{кр}$ значения $\varphi \geq \varphi_K$. Следовательно, при этих углах падения фазовые сдвиги волн, отражающихся от поверхностей реальных жидкостей, всегда больше фазовых сдвигов волн, отражающихся от твердой абсолютно теплопроводной поверхности.

Резкое увеличение величины фазовых сдвигов φ и φ_K , наблюдается вблизи углов падения $\theta = \theta_m$ и $\theta = \theta_{mBl}$ (см. рис. 3 б), на которых наблюдаются минимумы коэффициентов отражения (см. рис. 2). По мере увеличения угла падения волны значения φ и φ_K увеличиваются и при $\theta = \theta_m$ и $\theta = \theta_{mBl}$ становятся равными

$\varphi = \varphi_K = \pi/2$. Дальнейшее увеличение угла падения приводит к смене знаков фазовых сдвигов, величина которых $\varphi = \varphi_K = -\pi/2$. И при $\theta \rightarrow \pi/2$ абсолютные значения фазовых сдвигов уменьшаются и становятся равными нулю при $\theta = \pi/2$.

Заключение

Представленную в работе методику расчета коэффициентов отражения звуковых волн по давлению, а также их фазовых сдвигов целесообразно использовать на низких частотах. На частотах $f > 60$ кГц поверхность любой жидкости ведет себя как твердая абсолютно теплопроводная поверхность и, следовательно, на этих частотах можно применять теорию Б.П. Константинова [2,3]. Предложенная методика расчета может быть также рекомендована для расчетов параметров звуковых волн отражающихся от границы газ-твердое тело. Методика хорошо работает, если твердое тело имеет $\rho c < 10^6$ кг/м²·с. Влияние шероховатой поверхности твердого тела на процесс диссипации энергии в АПС можно учесть, например, как это было сделано в работе [9].

Литература

1. Бреховских Л.М., Годин О.А. Акустика неоднородных сред. Том 1 Основы теории отражения и распространения звука. – М.: Наука, 2007. – 443 с.
2. Константинов Б. П. О поглощении звуковых волн при отражении от твердой границы. ЖТФ, т.9, N3, 1939, с. 226-238.
3. Константинов Б. П. Гидродинамическое звукообразование и распространение звука в ограниченных средах. – Л.: Наука, 1974. – 144 с.
4. Легуша Ф. Ф. Эффект Константинова и поглощение звука в неоднородных средах. УФН, 1984, т. 144, №3, с. 509-522.
5. Легуша Ф. Ф. Расчет коэффициентов отражения и прохождения плоской волны на границе раздела жидких сред с учетом их вязкости и теплопроводности. – Письма в ЖТФ, 1982, т.9, № 22, с. 1390-1392.
6. Легуша Ф. Ф. Импеданс границы раздела жидких сред с учетом эффекта Константинова. – ЖТФ, 1984 т.54, №1, с. 181-183.
7. Легуша Ф. Ф. Поглощение Константинова на границе раздела жидких полупространств. – ЖТФ, 1984, т.54, № 4, с. 671-678.
8. Легуша Ф.Ф., Мусакаев М.А., Попков С.В., Чижов Г.В. Импеданс плоской границы раздела газ-жидкость с учетом диссипации энергии в акустическом пограничном слое // СПб: Морские интеллектуальные технологии, Т. 1, 2015, с 82-87.
9. Васильев Б.П., Легуша Ф.Ф., Мусакаев М.А., Олейник М.М. Диссипация акустической энергии в трубах, заполненных жидкостями // СПб: Морские интеллектуальные технологии, №4, 2012, с 30-33

References

1. Brehovskikh L.M., Godin O.A. Acoustics inhomogeneous environment. Vol 1 Fundamentals of reflection and sound propagation theory. M.: Nauka, 2007. – 443 p.
2. Konstantinov B. P. About the absorption of sound waves reflected from a solid border. ZhTF, V.9, N3, 1939, p. 226-238.
3. Konstantinov B. P. Hydrodynamic sound creations and sound propagation in constrained environments. L.: Nauka, 1974. 144 p.
4. Legusha F. F. The Konstantinov effect and sound absorption in inhomogeneous media. Sov. Phys. Usp. 27(11), 1984, p. 887-894.
5. Legusha F. F. The calculation of the coefficients of reflection and transmission of plane waves at the interface of liquid environment with regard to their viscosity and thermal conductivity. Pis'ma v ZhTF, 1982, v.9, № 22, p. 1390-1392.
6. Legusha F. F. The impedance of the boundary liquid environment with regard to the Konstantinovs effect. ZhTF, 1984 v.54, №1, p. 181-183.
7. Legusha F. F. Konstantinovs absorption at the interface of liquid half-spaces. ZhTF, 1984, t.54, № 4, s. 671-678.

-
8. Legusha F.F., Musakaev M.A., Popkov S.V., Chizhov G.V. Impedans ploskoj granicy razdela gaz-zhidkost' s uchetom dissipacii jenergii v akusticheskom pogranichnom sloe. SPB: Morskie intellek-tual'nye tehnologii, ,T. 1, 2015, s 82-87.
 9. Vasil'ev B.P., Legusha F.F., Musakaev M.A., Olejnik M.M. Dissipacija akusticheskoj jenergii v tru-bah, zapolnennyh zhidkostjami. SPB: Morskie intellektual'nye tehnologii, №4, 2012, s 30-33

УДК 534.142.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕРМОФОНОВ

Легуша Фёдор Фёдорович

доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3

Невеселова Ксения Васильевна

аспирантка,
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3
e-mail: kv_neveselova@mail.ru

Аннотация

В работе приводятся результаты исследований термофонов, имеющих новое конструктивное исполнение. Термофоны являются нерезонансными широкополосными источниками звука. Активные элементы таких термофонов формируются методом напыления металлов на поверхностях несущих пластин, изготовленных из полимерных материалов.

Представлены результаты измерений параметров термофона, имеющего следующие характеристики. Активный элемент (АЭ) сформирован из титана. Толщина АЭ 0,25 мкм, сопротивление по постоянному току 139 Ом. Несущая пластина изготовлена из гетинакса толщиной 5,0 мм. Термофон излучает звуковую волну в воздух. На частотах выше 7 кГц при удельной пиковой мощности электропитания 3,1 Вт/м² уровень звука 47 дБ.

Измерения проводились в заглушённой камере Крыловского государственного научного центра. При этом были получены амплитудно-частотные и амплитудные характеристики термофонов. Измерения статических скачков температуры, возникающих на поверхности АЭ работающего термофона, показали, что эти скачки невелики и не могут влиять на работоспособность термофона. Результаты расчётов и измерений дают хорошее соответствие.

Ключевые слова: Термофон, активный элемент, несущая пластина, широкополосный источник звука, звуковая волна, переменная температура, скачок температуры, переменный электрический ток, пиковая мощность тока.

Experimental Investigations On Modern Thermophones

Legusha Fedor Fedorovich

the professor, Dr. Sci.Phys.-Math.,
the professor of DEPARTMENT OF PHYSICS,
STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation
e-mail: legusha@smtu.ru

Neveselova Kseniya Vasilevna

graduate student,
junior researcher of RESEARCH PART,
STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation
e-mail: kv_neveselova@mail.ru

Abstract

This work presents investigation results of new thermophone design. Thermophones are nonresonance broadband sound sources. Active elements of these thermophones are formed by method of metal deposition on surfaces of bearing plates made of polymeric materials.

Herein are presented measurement results of thermophone parameters with the following characteristics. Active element (AE) is made of titanium. The AE thickness is 0.25 microns, direct current resistance is 139 Ohms. Bearing plate is made of hardened paper 5.0 mm thick. Thermophone radiates an acoustic wave into the air. At frequencies over 7 kHz, with specific peak supply power of 3.1 W/m², the sound level is 47 dB.

The measurements have been carried out in the echo-free chamber of Krylovsky state scientific center. Thus, have been obtained the amplitude-frequency and amplitude characteristics of thermophones. The measurements of static temperature jumps arising on the AE surface of working

thermophone have indicated that these jumps are small and cannot influence the thermophone function. Results of calculations and measurements reveal a close agreement.

Keywords: Thermophone, active element, bearing plate, broadband sound source, sound wave, variable temperature, temperature jump, alternating electric current, peak current power.

Введение

Современные технологии, используемые при создании электронных компонентов радиотехнической и акустической аппаратуры, позволяют формировать на поверхности твёрдого тела очень тонкие слои, проводящие электрический ток. Слои обычно имеют толщину порядка десятков нанометров и могут быть использованы для создания активных элементов (АЭ) термофонов. Первое описание новой конструкции термофона приводится в работе [1]. АЭ этого термофона сформирован в виде слоя алюминия (толщина 30 нм), напылённого на поверхность твёрдого тела. Механическая прочность современного термофона определяется прочностными характеристиками пластины, на поверхность которой нанесён АЭ. Малые габариты и вес современных термофонов позволяют предположить, что они найдут применение в качестве нерезонансных широкополосных источников звука различных мобильных устройств.

1. Устройство и работа современного термофона

Структурная схема современного термофона представлена на рис. 1. Активный элемент термофона – 1 нанесён на верхнюю поверхность подложки – 2, которая в свою очередь закреплена на верхней поверхности несущей пластины – 3.

Для повышения акустической эффективности термофона между его АЭ и поверхностью механической основы вводят теплоизоляционный слой – подложку (см. рис. 1). При изготовлении подложек чаще всего используют пористый кремний [1] или пористые полимеры [2]. Изменение пористости материала позволяет управлять тепловыми свойствами подложки, что в свою очередь позволяет оптимизировать акустические параметры устройства.

Несущая пластина термофона обеспечивает ему необходимую механическую прочность. Площадь несущей поверхности пластины делают достаточной для формирования на ней излучающей поверхности термофона. В свою очередь величина площади излучающей поверхности должна обеспечивать заданные значения акустических параметров термофона, например, его характеристики направленности. Физические параметры вещества пластины выбирают из условия обеспечения стабильной работы термофона во время его эксплуатации.

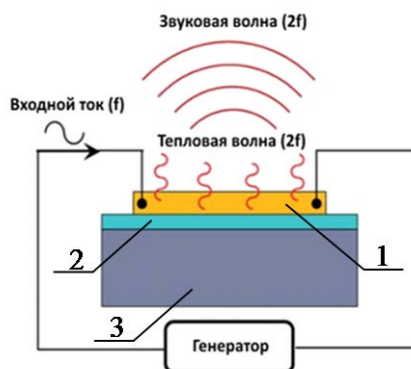


Рис. 1. Структурная схема современного термофона [5]: 1 – активный элемент; 2 – подложка; 3 – несущая пластина

Работа устройства отличается от работы классического термофона лишь тем, что тепловая волна, зародившаяся на нижней поверхности АЭ, распространяется не в газе, а в веществе, из которого изготовлена подложка. Условия формирования звуковых волн на верхней поверхности АЭ не изменяются. Существуют также варианты изготовления термофонов, в которых подложка отсутствует, их АЭ сформированы непосредственно на поверхности несущей пластины [3-6].

Во всех случаях, обсуждавшихся в литературе, для обеспечения излучения звука использовался режим возбуждения современных термофонов, при котором через АЭ пропускался только переменный ток с частотой f и, как следствие этого, излучаемая термофоном звуковая волна имела частоту $2f$. Существует другой режим возбуждения термофонов, при котором частота излучаемой звуковой волны равна частоте генератора. Описание этого режима возбуждения и некоторые особенности использования классических термофонов можно найти в книге [7].

2. Расчёт распределения амплитуды звукового давления вдоль центральной оси термофона

Будем считать, что термофон выполнен по схеме, показанной на рис. 1. Прежде всего, определимся с геометрическими параметрами излучающей поверхности плоского термофона. Нетрудно предположить, что по форме и размерам излучающая поверхность должна соответствовать форме и размерам боковой поверхности АЭ термофона. В большинстве случаев, описание которых приводится в литературе [1-6], боковая поверхность АЭ термофона квадратная. Можно считать, что в общем случае излучающая звуковую поверхность термофона имеет прямоугольную форму. Геометрические размеры излучающей области можно записать в виде: длина $2A_1 = 2A + \lambda_{T1}$; ширина $2B_1 = 2B + \lambda_{T1}$, где λ_{T1} –

длина тепловой волны в среде, в которую излучается звук.

Наличие разрывов между проводниками может приводить к нарушению однородного распределения амплитуды колебательной скорости источника звука. Для того чтобы этого не происходило, на высоких частотах должно выполняться неравенство $d < \lambda_{T1}$, где d – расстояние между кромками параллельных проводников. При проведении расчётов мы полагаем, что амплитуда колебательной скорости постоянна по всей поверхности источника звука. Это позволяет излучающие поверхности термофона рассматривать как плоские поршневые источники звука, находящиеся в жёстком акустическом экране. Методика расчёта параметров таких источников звука хорошо отработана. По этой причине, опираясь на данные, имеющиеся в литературе [8, 9], мы можем приступить непосредственно к оценке акустических параметров термофонов.

Если отношение $A_1/B_1 \leq 1,2$, то прямоугольный поршневой источник звука может быть заменён эквивалентным ему круглым источником, имеющим эквивалентный радиус $r_0 = \sqrt{2A_1 \cdot 2B_1/\pi}$. Согласно стандартной процедуре проверки источников звука [10] амплитуда звукового давления, создаваемого источником, регистрируется на его центральной оси. Следовательно, для того, чтобы мы могли проводить сопоставление результатов расчётов измерений, необходимо иметь надёжную методику оценки значений амплитуды звукового давления на центральной оси термофона.

Как показано в работе [6], фактически излучение звука в современном термофоне обеспечивается двумя поверхностями, параллельными друг другу. Центральные оси этих поверхностей совпадают. Излучающая поверхность, находящаяся на расстоянии $x = \lambda_{T1}$ от поверхности АЭ, создаёт за счёт термоакустического эффекта бегущую звуковую волну $p_1(\vec{r}, t)$, где \vec{r} – радиус-вектор, соединяющий центр источника звука с точкой наблюдения. В процессе работы термофона на вещество твёрдого тела, на поверхность которого нанесён АЭ, воздействует переменный тепловой поток. Это приводит к возникновению механических колебаний свободной поверхности тела за счёт теплового расширения вещества и, как следствие этого, к излучению бегущей звуковой волны $p_3(\vec{r}, t)$ с поверхности АЭ ($x = 0$).

В виду того, что центральные оси совмещённых источников звука совпадают, полная амплитуда звукового давления в точке x на оси термофона будет

$$p(x) = p_1(x) + p_3(x). \quad (1)$$

Для каждого из имеющихся в термофоне источников звука мы можем написать:

$$p_1(x) = 2U_{01} \rho_1 c_1 \left| \sin\left(\frac{k\alpha_1}{2}\right) \right|, \quad (2)$$

где $\alpha_1 = \sqrt{(x - \lambda_T)^2 + r_0^2} - x$;

$$p_3(x) = 2U_{03} \rho_1 c_1 \left| \sin\left(\frac{k\alpha_3}{2}\right) \right|, \quad (3)$$

где $\alpha_3 = \sqrt{x^2 + r_0^2} - x$.

3. Расчёт амплитуды колебательной скорости

Формулы для расчёта амплитуды колебательной скорости, входящих в выражения (2) и (3) имеют вид [4-6]:

$$U_{01} = \sqrt{a_1 \omega} \beta_{V1} T'_m; \quad (4)$$

$$U_{03} = \omega \zeta_{03} = \sqrt{a_3 \omega} \beta_{V3} T'_m, \quad (5)$$

где ζ_{03} – амплитуда колебательной поверхности твёрдого тела, a – температуропроводность, β_V – коэффициент теплового объёмного расширения, T'_m – амплитуда переменной температуры поверхности АЭ. Параметрам газа присвоен индекс «1», а параметрам твёрдого тела индекс «3».

Как видим из формулы (5) амплитуда колебательной скорости свободной поверхности пропорциональна коэффициенту теплового объёмного расширения вещества подложки β_{V3} . Если подложка 3 (см. рис. 1) является изотропным твёрдым телом, то значение его коэффициента теплового объёмного расширения определяем по формуле $\beta_{V3} = 3 \cdot \alpha_3$, где α_3 – коэффициент теплового линейного расширения твёрдого тела. В случае, когда подложка имеет пористую структуру, для расчёта значения её коэффициента теплового объёмного расширения можно в первом приближении использовать формулу $\beta_{V3p} = 0,67n\beta_{V1}$, где n – пористость вещества в относительных единицах; β_{V1} – коэффициент теплового объёмного расширения газа, заполняющего поры. Для всех газов значения коэффициентов теплового объёмного расширения близки к $\beta_{V1} = 1/273,15 \text{ K} = 3,66 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Для расчёта амплитуды переменной температуры поверхности АЭ можно использовать выражение [11]

$$T'_m = \frac{q_e}{\sqrt{\omega(K_{H1} + K_{H3})^2 + (\omega\varepsilon)^2}}, \quad (6)$$

где $q_e = P_e/S$ – удельная пиковая мощность тепловыделения активного элемента; $P_e = R_e I_m^2$ – мощность, потребляемая термофоном; R_e – электрическое сопротивление АЭ; I_m – амплитуда переменного тока, S – площадь боковой поверхности АЭ; $K_{H1} = \sqrt{\chi_1 \rho_1 c_{p1}}$; $K_{H3} = \sqrt{\chi_3 \rho_3 c_{p3}}$.

Необходимо отметить, что формула (6) получена для случая, когда выполняется условие

$$\Delta T = T_n - T_0 \leq T_0, \quad (7)$$

где T_n – статическая температура поверхности АЭ, T_0 – температура окружающей термофон среды. Если частота звуковой волны $f \geq f_{nc}$, то наблюдается режим высокочастотного излучения звука термофоном. Значение нижней границы

этого диапазона частот определяется по формуле

$$f_{nc} = (K_{H1} + K_{H3})^2 / 20\pi\epsilon^2 \quad (8)$$

На высоких частотах значения функции $T'_m(f)$ изменяются пропорционально $1/\omega$. Если же имеет место неравенство $f < f_{nc}$, то термофон работает в низкочастотном режиме излучения звука. В этом случае величина функции $T'_m(f)$ изменяется пропорционально $1/\sqrt{\omega}$.

4. Конструктивное исполнение современных термофонов

Для проверки результатов наших исследований, представленных выше [4, 5, 11, 12], нами разработана конструкция и отработана технология изготовления современных термофонов. Компоновка термофона соответствует конструкции, предложенной в работах [1, 2]. На данном этапе исследований было решено вопросами формирования подложки (см. рис.1) не заниматься. Общий вид термофонов, изготовленных для проведения экспериментальных исследований показан на рис. 2.

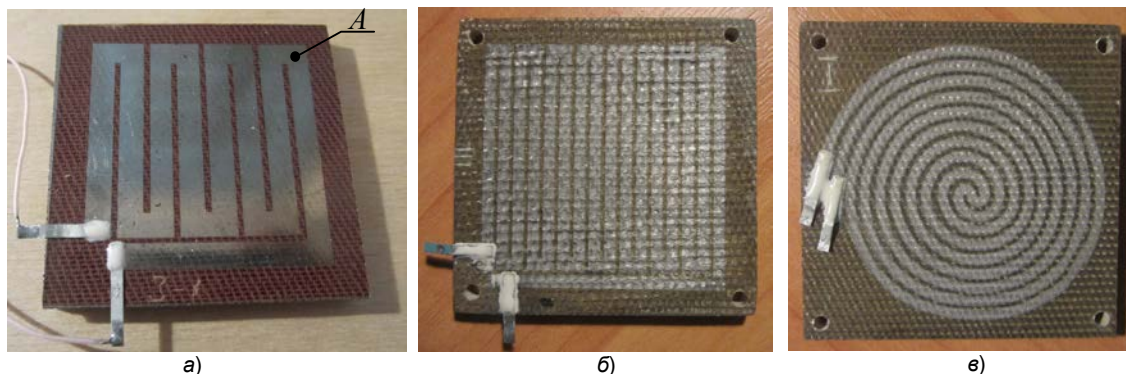


Рис. 2. Изображения современных термофонов

Активные элементы термофонов изготавливаются методом вакуумного напыления металла непосредственно на поверхностях несущих пластин. Для формирования АЭ использовались алюминий и титан.

Параметры АЭ термофонов, показанных на рис. 2, представлены в таблице 1.

Таблица 1
Результаты расчётов размерных коэффициентов акустической эффективности различных металлов

Параметр	Рис. 2-а	Рис. 2-б	Рис. 2-в
Длина АЭ, мм	327,0	644,0	634,0
Ширина АЭ, мм	4,0	2,0	1,5
Расстояние между витками d , мм	1,0	0,5	0,8
$2A$, мм	40,0	40,0	40,2
$2B$, мм	39,0	39,0	40,4
r_0 , мм	20,0	20,0	20,1

В процессе изготовления термофонов толщины активных элементов принимали значения соответствующие диапазону от 0,1 мкм до 15,0 мкм. Это позволяет изготавливать АЭ термофонов с заданным значением электрического сопротивления R_e .

Несущие пластины термофонов изготавливались в форме квадрата со стороной 50,0 мм. Толщины пластин были различными и имели значения от 1, 0 мм до 5,0 мм. Для изготовления несущих пластин использовались: гетинакс, текстолит, стеклотекстолит.

Электрические контакты были изготовлены из высококачественной электротехнической меди. К поверхности АЭ термофонов контакты приклеи-

вались при помощи специального электропроводящего клея. Кроме того, для обеспечения механической прочности контактов их приклеивали к поверхности несущей пластины высокопрочным электроизоляционным клеем.

5. Анализ результатов измерений параметров термофонов

Измерения акустических параметров термофонов производились в заглушённой камере ФГУП «Крыловский государственный научный центр». В процессе измерений реализована стандартная методика контроля параметров источников звука [10]. Основное отличие от стандартной методики микрофонов в том, что срезы измерительных микрофонов находились на расстоянии $x_0 = 50,0$ мм от центра излучающей поверхности исследуемого термофона. Кроме того, в состав стенда дополнительно были введены электронные термометры для измерения статических значений температуры воздуха в камере T_0 и температуры поверхности АЭ термофона T_n .

На рис. 3 показана амплитудно-частотная характеристика одного из исследованных термофонов. Конструкция этого термофона показана на рис. 2-а. АЭ выполнен методом напыления титана на поверхности несущей пластины, изготовленной из гетинакса. Толщина несущей пластины 5,0 мм. Толщина АЭ составляет 0,25 мкм, электрическое сопротивление АЭ по постоянному току $R_e = 139$ Ом. В процессе измерений удельная пиковая мощность переменного электрического тока была постоянной и составляла $q_e = 3,1$ Вт/м².

Температура воздуха в помещении $T_0 = 293,6$ К. Значение нижней границы высокочастотного диапазона частот термофона $f_{nc} = 18$ кГц. Измерения проводились до $10,0$ кГц. Следовательно, тер-

мофон работает в низкочастотном режиме излучения звука и в формуле (6) можно пренебречь слагаемым $(\omega\epsilon)^2$.

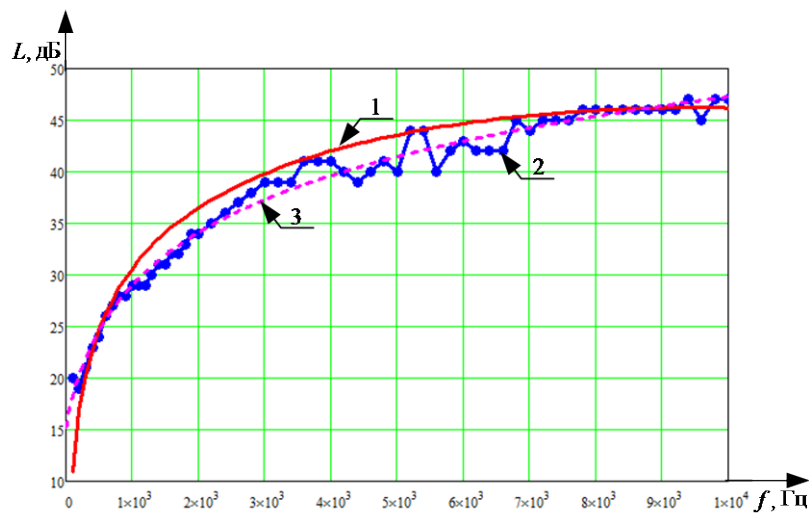


Рис. 3. Частотные зависимости уровня звукового давления: 1 – расчёт; 2 – экспериментальные данные центрального микрофона; 3 – усреднённые значения эксперимента

Как видно из рис. 3 уровень звукового давления при выбранном режиме возбуждения термофона монотонно возрастает. На частотах выше $8,0$ кГц уровень звука достигает значения $L = 47$ дБ, которое при дальнейшем увеличении частоты практически не изменяется. Результаты расчётов и измерений достаточно хорошо совпадают. Это видно из сопоставления хода 1 и 3 кривых. Усреднённые значения эксперимента (кривая 3) получены в результате усреднения данных 5 независимых измерений. При этом наблюдается хорошая повторяемость результатов измерений.

Амплитудная характеристика термофона показана на рис. 4, из которого видно, что на частоте $8,5$ кГц амплитуда звукового давления линейно возрастает с увеличением мощности, потребляемой термофоном.

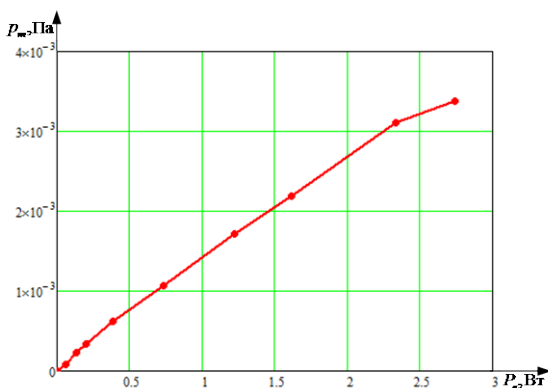


Рис. 4. Зависимость амплитуды звукового давления от мощности, потребляемой термофоном

Одновременно с измерением акустических параметров термофона контролировалась температура разогрева поверхности его АЭ. Результа-

ты этих измерений показаны на рис. 5. Температура измерялась на поверхностях электрических контактов (кривые 1 и 2), а также на поверхности АЭ в точке наиболее удалённой от контактов (кривая 3). Измерения проводились при температуре окружающей среды $T_0 = 294,3$ К.

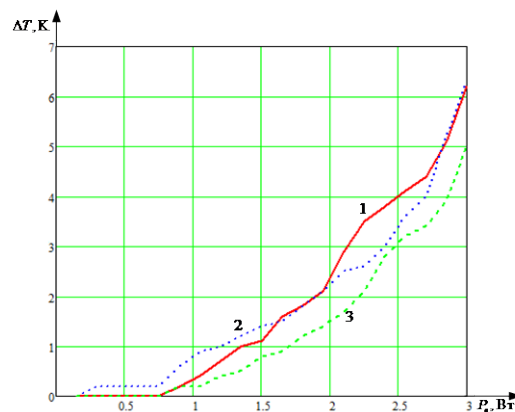


Рис. 5. Зависимость скачка температуры ΔT от мощности, потребляемой термофоном: 1, 2 – на поверхностях контактов; 3 – в точке А

Из рис. 5 видно, что измеряемые значения температурных напоров ΔT во всех точках нелинейно возрастают по мере увеличения мощности электрического сигнала, поступающего на АЭ. Зоны электрических контактов разогреваются больше, чем поверхность открытой части поверхности АЭ. Это можно объяснить тем, что электропроводящий клей, посредством которого контакты закреплены на поверхности титана, вносит дополнительное электрическое сопротивление и, как следствие этого, джоулевы потери возрастают. Во всех случаях скачки

температуры ΔT невелики и их появление не может привести к разрушению термофона.

Заключение

В заключении отметим, что при практическом использовании термофонов легко подобрать условия их работы, обеспечивающие выполнение неравенства (7). Следовательно, методика расчёта амплитуды переменной температуры поверхности АЭ и формулы (4), (5) и (6) могут быть использованы для оценки акустических парамет-

ров термофонов без каких-либо дополнительных ограничений.

Промышленное изготовление термофонов может быть налажено на предприятиях, выпускающих компоненты радио- и гидроакустической аппаратуры. Уровень технологического обеспечения таких предприятий вполне достаточен для обеспечения производства термофонов и не требует использования специализированных технологических процессов. Авторы приносят свою благодарность за помощь в изготовлении термофонов и активную поддержку работы С.И. Пугачеву и И.М. Старобинцу.

Литература

1. *Shinoda H., Nakajima T., Ueno K., Koshida N.* Thermally induced ultrasonic emission from porous silicon. *Nature (London)*, Vol 400, 1999. – P. 853-855.
2. *Chitnis G., Kim A., Song S.H., Jessop A.M., Bolton J.S.* A thermophone on porous polymeric substrate. *Birck and NCN Publications*, 2012. – P. 1160.
3. *Niskanen A. O., Hassel J., Gronberg L., Helisto P.* Suspended Metal Wire Array as a Thermoacoustic Sound Source. *J. Appl. Phys. Lett.* 95(16), 2009. – p. 163102.
4. *Васильев Б.П., Легуша Ф.Ф., Невеселова К.В.* Термоакустический источник звука. *Вестник СПбО АИН*, Вып. 8. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2012 г. – с.145-159.
5. *Легуша Ф.Ф., Невеселова К.В.* Широкополосные термоакустические источники звука – термофоны. *СПб.: МИТ*, № 3 (25), том 1, 2014, с. 71-77.
6. *Легуша Ф.Ф., Васильев Б.П., Невеселова К.В.* Исследование процесса излучения звука современными термофонами. *Вестник СПбО АИН*, Вып. 13. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2015 г.
7. *Беранек Л.* Акустические измерения. – М.: ИЛ, 1952, – 626 с.
8. *Ржевкин С.Н.* Курс лекций по теории звука. – М.: Изд. МГУ, 1960. – 338 с.
9. *Скучик Е.* Основы акустики. Т. 2. – М.: Мир, 1976. – 548 с.
10. ГОСТ 12.1.024-81 (1996) (СТ СЭВ 3076-81) ССБТ. Шум. Определение шумовых характеристик источников шума в заглушённой камере. Точный метод.
11. *Невеселова К.В.* Расчёт амплитуды переменной температуры активного элемента термофона. *СПб.: МИТ*, № 4 (26), том 1, 2014, с. 110-115.
12. *Невеселова К.В., Васильев Б.П., Легуша Ф.Ф.* Низкочастотные источники звука на основе термоакустического эффекта. *Тр. НТК, Неделя военной науки*, ч. IV, СПб.: Издание ВМПИ, 2014 г. – с. 112-121.

References

1. *Shinoda H., Nakajima T., Ueno K., Koshida N.* Thermally induced ultrasonic emission from porous silicon. *Nature (London)*, Vol 400, 1999. P. 853-855.
2. *Chitnis G., Kim A., Song S.H., Jessop A.M., Bolton J.S.* A thermophone on porous polymeric substrate. *Birck and NCN Publications*, 2012. P. 1160.
3. *Niskanen A. O., Hassel J., Gronberg L., Helisto P.* Suspended Metal Wire Array as a Thermoacoustic Sound Source. *J. Appl. Phys. Lett.* 95(16), 2009. p. 163102.
4. *Vasil'ev B.P., Legusha F.F., Neveselova K.V.* Thermoakusticheskiy istochnik zvuka. *Vestnik SPbO AIN*, Vyp. 8. – SPb.: Izd-vo SPbGPU, 2012. pp.145-159.
5. *Legusha F.F., Neveselova K.V.* Shirokopolosnye termoakusticheskie istochniki zvuka – termofony. *SPb.: MIT*, № 3 (25), tom 1, 2014, pp. 71-77.
6. *Legusha F.F., Vasil'ev B.P., Neveselova K.V.* Issledovanie protsessa izlucheniya zvuka sovremennymi termofonami. *Vestnik SPbO AIN*, Vyp. 13. SPb.: Izd-vo SPbGPU, 2015.
7. *Beranek L.* Akusticheskie izmereniya. (Acoustic measurements). Moscow: IL, 1952. 626 p.
8. *Rzhevkin S.N.* Kurs lektsiy po teorii zvuka. Moscow: Izd. MGU, 1960. 338 p.
9. *Skuchik E.* Osnovy akustiki. T. 2. M.: Mir, 1976. – 548 p.

УДК 534.142.1

ТЕРМОАКУСТИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ЗВУКА НА ОСНОВЕ ПЛОСКИХ ПРОВОЛОЧНЫХ СТРУКТУР

Васильев Борис Петрович

кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры физики
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3
e-mail: bp_vas@mail.ru

Невеселова Ксения Васильевна

аспирантка,
младший научный сотрудник научно-исследовательской части
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3
e-mail: kv_neveselova@mail.ru

Аннотация

Разработана методика расчёта основных акустических параметров термоакустических источников звука (термофонов), изготовленных в виде плоских проволочных структур различной формы. В качестве активных элементов, через которые пропускается переменный ток, использовалась нихромовая проволока диаметром 50 мкм. Получены выражения для расчёта переменной температуры поверхности проволочной структуры и звукового давления в газах. Приводятся результаты измерений частотной характеристики излучения для термофона с числом проволочных элементов $N = 16$ в диапазоне частот 100...10000 Гц. Анализируются причины экспериментально наблюдавшихся резонансов на общем фоне монотонной амплитудно-частотной характеристики излучения и способы их устранения. Приводятся результаты практического использования прозрачного для звука проволочного термофона для исследования акустических свойств труб.

Ключевые слова: Плоский проволочный термофон, тепловая волна, переменный электрический ток, переменная температура, звуковое давление, амплитудно-частотная характеристика, акустические измерения, звукопроницаемый термофон

ThermoACOUSTIC SOURCES OF A SOUND ON THE BASIS OF FLAT WIRE STRUCTURES

Vasilev Boris Petrovich

associate Professor, Cand. Sc., the professor of DEPARTMENT OF PHYSICS,
STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation
e-mail: bp_vas@mail.ru

Neveselova Kseniya Vasilevna

graduate student, junior researcher of RESEARCH PART,
STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation
e-mail: kv_neveselova@mail.ru

Abstract

The method of calculation of the basic acoustic parameters of thermoacoustic sound sources (thermophon) made in the form of flat wire structures of various shapes is developed. As active elements, through which alternating current is passed, the nikhrom wire with a diameter of 50 microns was used. The expressions for calculation of variable temperature of a surface wire structure and sound pressure in gases are received. The results of measurements of frequency characteristics of radiation for a thermophon with number of wire elements $N = 16$ are given in range of frequencies of 100...10000 Hz. The reasons of experimentally observed resonances on the general background of the monotonous amplitude-frequency characteristic of radiation and ways of their elimination are analyzed. Results of practical use of a wire thermophon, transparent for a sound, for research of acoustic properties of pipes are given.

Key words: Flat wire thermophon, thermal wave, alternating electric current, variable temperature, sound pressure, amplitude-frequency characteristic, acoustic measurements, sound-transmitting thermophon.

Введение

Если по проводнику пропустить переменный электрический ток, то за счёт джоулевых потерь на поверхностях проводника возникает переменное температурное поле, генерирующее в окружающей проводник среду неоднородные тепловые волны. Появление тепловых волн в среде (газ, жидкость) приводит к периодическим изменениям ее акустических параметров и, как следствие этого, к возникновению в пространстве бегущей звуковой волны. В этом суть термоакустического эффекта, на основе которого в настоящее время ведутся разработки различных типов термоакустических источников звука – термофонов [1-7]. Термофоны являются нерезонансными широкополосными источниками звука, эффективно работающими во всём звуковом диапазоне частот вплоть до 150 кГц.

Значительные успехи получены при разработке плёночных термофонов [2, 5, 8, 9], в которых излучающим элементом является тонкая плёнка, напылённая на теплоизолирующую подложку. Такие термофоны обладают однонаправленным излучением и нашли применение в акустике.

Гораздо менее изучены термофоны на проволочной основе, практически отсутствуют публикации о возможностях их практического использования.

Данная статья посвящена расчёту и разработке проволочных термофонов, а также приводятся результаты измерения их частотных характеристик излучения. В отличие от плёночных термофонов, излучение проволочных термофонов двустороннее. Поэтому разработаны термофоны, практически прозрачные для возбуждения звука в трубах с целью изучения их акустических характеристик.

1. Расчёт амплитуды переменной температуры активного элемента термофона, изготовленного из проволоки

Пусть имеется классический термофон, активный элемент (АЭ) которого изготовлен из проволоки, имеющей радиус r_p . Если по проводнику течёт переменный ток с частотой ω , то на его поверхности возбуждается переменное температурное поле $T'_1(2\omega)$. Для расчёта амплитуды этого поля воспользуемся схемой, показанной на рис. 1.

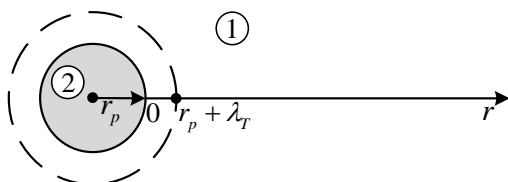


Рис. 1. Схема расчёта амплитуды переменной температуры поверхности проволоки: 1 – пространство, заполненное газом; 2 – вещество, из которого изготовлена проволока; λ_T – длина тепловой волны

Пропускание по АЭ переменного электрического тока возбуждает на его поверхности переменное температурное поле с удвоенной частотой $T'_1(2\omega)$, а в среде, окружающей проводник, возникает неоднородная тепловая волна, фронт которой имеет цилиндрическую форму [3, 10]

$$T'_1 = T'_m \sqrt{\frac{r_p}{r_p + r}} \cdot e^{-\frac{r}{\delta_T}} \cos\left(2\omega t - \frac{r}{\delta_T}\right), (1)$$

где T'_m – амплитуда переменной температуры поверхности проволоки, где $\delta_T = \sqrt{2a/\omega}$ – толщина теплового пограничного слоя, $a = \chi/C_p \rho$ – коэффициент температуропроводности среды, C_p – удельная теплоёмкость при постоянном давлении, ρ – плотность газа.

Если предположить, что тепло, выделяющееся в АЭ, полностью идёт на обеспечение существования тепловой волны (1), то уравнение теплового баланса системы имеет вид

$$q_e = q_1, (2)$$

где q_1 – удельная мощность тепловыделения в окружающую проволоку среду; $q_e = p_e/2\pi r_p l$, $p_e = R_e I_m^2$ – пиковая мощность тепловыделения за счёт джоулевых потерь, l – длина проволоки.

Величину удельной мощности тепловыделения в окружающую среду можно найти из уравнения теплопроводности

$$q_1 = -\chi_1 \frac{dT'_1}{dr} \Big|_{r=0}. (3)$$

Подставив в уравнение (3) выражение (1), после несложных преобразований имеем

$$q_1 = \frac{\chi_1 T'_m (\delta_T + 2r_p)}{2r_p \delta_T}. (4)$$

Используя уравнение теплового баланса (2) и формулу (4) получим выражение для расчёта амплитуды переменной температуры поверхности проволоки

$$T'_m = p_e / \ell \beta_e, (5)$$

где $\beta_e = \pi \chi \left(1 + \frac{2r_p}{\delta_T}\right)$.

С учётом расхода тепла, идущего на разогрев вещества, из которого изготовлена проволока, получим

$$T'_m = \frac{p_e}{\ell \sqrt{\beta_e^2 + (\omega \epsilon')^2}}, (6)$$

где ϵ' – теплоёмкость единицы длины проволоки.

Результаты расчёта частотной зависимости $T'_m(f)$ для АЭ из проволоки, имеющей радиус $r_0 = 5,0$ мкм и длину $\ell = 1,0$ м для мощности переменного тока, текущего по АЭ $p_e = 10,0$ Вт показаны на рис. 2.

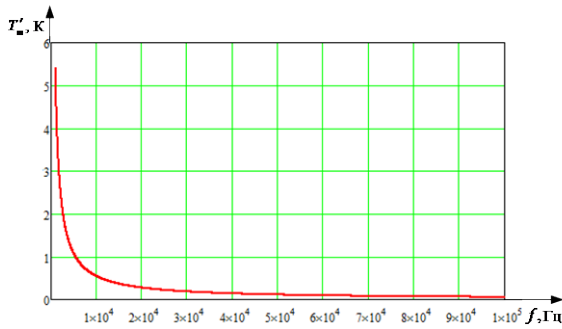


Рис. 2. Частотная зависимость амплитуды переменной температуры поверхности АЭ, изготовленного из проволоки

Из рис. 2 видно, что с ростом частоты значения амплитуды переменной температуры по поверхности проволоки T'_m , по которой течёт переменный электрический ток, монотонно убывает. На частотах выше 20 кГц значения T'_m становятся слабо зависящими от частоты.

2. Расчёт распределения амплитуды звукового давления вдоль центральной оси термофона

Волна $T'_1(r)$, зарождающаяся на поверхности цилиндрического проводника, распространяется и затухает в пространстве, заполненном газом. Начальная амплитуда тепловой волны T'_m определяется выражением (6). Звуковая волна, вызванная появлением тепловой волны, формируется на расстоянии, равном λ_{T1} от поверхности проволоки. Следовательно, проволока является цилиндрическим источником звука, имеющим радиус излучающей поверхности, равный $r_p + \lambda_{T1}$.

Рассматривая проволочный элемент как пульсирующий цилиндр, амплитуда колебательной скорости может быть вычислена по формуле [11]

$$U_r = \omega \zeta_r = -i\omega\beta v_1 \int_0^{\lambda_{T1}} T'_1(r) dr. (7)$$

В случае пульсирующего цилиндра для излучаемых им звуковых волн выполняются условия:

$$k_z = 0; \quad k_1 = k_r; \quad m = 0, (8)$$

где $k_z = k_1 \cdot \sin\theta$ – пространственное волновое число цилиндрической волны в осевом направлении; $k_r = k \cdot \cos\theta$ – пространственное волновое число цилиндрической волны в направлении нормали к поверхности цилиндра; $k_1 = \omega/c_1$ – волновое число звуковой волны в свободном пространстве; $m = 0, 1, 2, \dots$ – число, определяющее порядок волны; θ – угол между нормалью к поверхности проволоки и волновым вектором цилиндрической волны.

В соответствии с условиями (8) излучаемая пульсирующим цилиндром звуковая волны имеет волновой вектор \vec{k} перпендикулярный поверхности цилиндра и соответствует цилиндрическим волнам нулевого порядка. Решение волнового уравнения в обобщённых цилиндрических координатах, полученное в [11], позволяет сразу записать уравнение бегущей расходящейся цилиндрической волны для звукового давления

$$\bar{p}_1 = \frac{k_1 \rho_1 c_1}{4} \cdot Q_0 H_0^{(2)}(k_1 r), (9)$$

где $H_0^{(2)}(k_1 r) = J_0(k_1 r) - iN_0(k_1 r)$ – функция Ханкеля второго рода нулевого порядка, $J_0(k_1 r)$ – функция Бесселя первого рода нулевого порядка, $N_0(k_1 r)$ – функция Бесселя второго рода нулевого порядка (функция Неймана).

В уравнение (9) входит объёмная скорость, создаваемая цилиндрическим источником единичной длины

$$Q_0 = 2\pi(r_p + \lambda_T) U_r. (10)$$

Акустическая мощность, излучаемая единицей длины пульсирующего цилиндра, определяется из формулы

$$N_a = \frac{k_1 \rho_1 c_1}{8} \cdot Q_0^2 = \frac{\omega \rho_1}{8} \cdot Q_0^2. (11)$$

Для проволоки, имеющей длину $2A_1$, с учётом того, что расходящаяся цилиндрическая звуковая волна описывается реальной частью выражения (9), можем записать

$$p_1 = \frac{k_1 \rho_1 c_1}{2} \cdot Q_0 A_1 J_0(k_1 r). (12)$$

Если безразмерное расстояние достаточно велико ($k_1 r \gg 1$), то в выражении (12) функция Бесселя может быть заменена её асимптотическим приближением, и его можно переписать следующим образом

$$p_1 = \frac{k_1 \rho_1 c_1}{2} \cdot Q_0 A_1 \sqrt{\frac{2}{\pi k_1 r}} \cos\left(k_1 r - \frac{\pi}{4}\right). (13)$$

В книге [11] показано, что при $k_1 r \geq 6$ выражения (12) и (13) полностью совпадают. Наибольшие различия между этими формулами наблюдаются, если параметр $k_1 r < 1$.

На рис. 3 приведена схема плоского проволочного термофона. В состав АЭ проволочного термофона входит N проволок, имеющих длину $2A_1$. При этом значения N могут быть достаточно большими и составлять несколько десятков. Для простоты выкладок будем считать, что расстояния между проводниками d постоянны (шаг решетки).

Если $d > 2\delta_{T1}$, где δ_{T1} – толщина теплового ограничного слоя проводника, то каждый проводник, образующий решётку АЭ, излучает звук как отдельный источник. Во всём, интересующем нас диапазоне частот, выполняется неравенство $k_1 r_p \ll 1$. Следовательно, в плоскости чертежа (рис. 3) каждая проволока будет иметь круговую характеристику направленности (ХН). Полная ХН линейной базы, состоящей из N источников звука, имеющего длину $2A_1 = 2A + \lambda_T$, будет определяться произведением [9, 12]:

$$\Phi_{PA} = \Phi_1 \cdot \Phi_2 = \frac{\sin(k_1 A_1 \sin \alpha)}{k_1 A_1 \sin \alpha} \cdot \frac{\sin N \Delta}{N \sin \Delta}, (14)$$

где Φ_1 – ХН одного линейного источника звука, имеющего длину $2A_1 = 2A + \lambda_T$; Φ_2 – ХН линейной базы, состоящей из N точечных источников звука, $\Delta = k_1 d_1 \sin \gamma / 2$, γ – угол между осью Ox и радиус-вектором \vec{r} , α – угол между радиус-вектором \vec{r} и нормалью к поверхности АЭ в плоскости zOr .

Результирующий вклад в акустическое поле звукового давления определяется выражением

$$p_N = N \rho_1 \cdot \Phi_{PA} \quad (15)$$

Формулу (15) можно применять для оценки параметров акустического поля термофона в безграничной среде. Излучение при этом будет двусторонним.

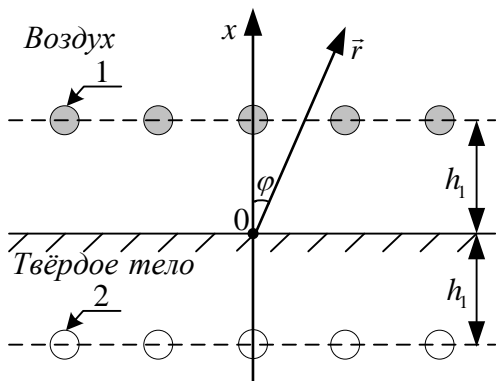


Рис. 3. Схема расчёта параметров акустического поля, создаваемого проволочным термофоном: 1 – действительные источники звука; 2 – мнимые источники звука

В нашем случае термофон можно рассматривать как линейная база, состоящей из двух источников звука, находящихся на расстоянии $2h_1$ друг от друга и излучение будет односторонним. Действительные и мнимые источники звука такой базы работают синфазно

Диаграмму направленности линейной базы двух синфазных источников звука можно записать в виде [10]:

$$\Phi_{\Sigma} = \Phi_{PA} \cdot \Phi_{22} = \Phi_{PA} \cdot \cos\left(\frac{2\pi h_1}{\lambda_1} \cos \varphi\right), \quad (16)$$

где Φ_{22} – ХН двух точечных источников, излучающих звуковые волны синфазно, λ_1 – длина звуковой волны в газе; φ – угол между осью Ox и радиус-вектором \vec{r} ; h_1 – расстояние от плоскости, в которой находятся АЭ, до отражающей поверхности.

Результирующее акустическое поле, создаваемое проволочным термофоном, запишется в виде

$$p = 2 \rho_N \cdot \Phi_{\Sigma} \quad (17)$$

Согласно методике испытаний источников звука, имеющих плоскую симметричную излучающую поверхность, микрофон, регистрирующий уровни звукового давления излучателя, устанавливается на его центральной оси. Исходя из геометрии задачи (см. рис. 3) для центральной оси термофона имеем: $\alpha = 0$, $\Phi_1 = 1$; $\gamma = 0$, $\Phi_2 = 1$; $\varphi = 0$, $\Phi_{22}(0) = \cos(2\pi h_1/\lambda_1)$. Тогда для распределения амплитуды звукового давления вдоль центральной оси термофона (рис. 3, ось Ox) получим выражение

$$p = N \cdot 2A_1 k_1 \rho_1 c_1 Q_0 H_0^{(2)}(k_1 x) \times \Phi_{22}(0) \sin\left[\frac{k_1}{2} \left(\sqrt{r_0^2 + x^2} - x\right)\right] \quad (18)$$

Из формул (16), (17) видим, что при фиксированных значениях h_1 изменение частоты сигнала приводит к появлению на центральной оси термофона максимумов и минимумов амплитуды звукового давления. Для того, чтобы избежать наличие этого эффекта необходимо уменьшать величину h_1 . При $h_1 \rightarrow 0$ значение функции $\Phi_{22}(0) \rightarrow 1$. Этот случай соответствует ситуации, когда АЭ термофона лежит на поверхности твёрдого тела ($h_1 = r_p$).

Отметим также, что если расстояние между проводниками удовлетворяет условию $d \leq 2\delta_{T1}$, то тепловые волны, возникающие на соседних проводниках, перекрываются. В пространстве выше и ниже проволок, входящих в состав АЭ, формируются непрерывные излучающие поверхности.

3. Анализ результатов измерений параметров термофонов

Для сопоставления результатов расчётов и результатов экспериментальных исследований было изготовлено несколько проволочных термофонов, фотография испытуемого образца представлена на рис. 4. Свободная длина проволочной структуры составляет $2A = 5,3$ см, ширина $2B = 1,2$ см. Плоскость элемента заполнена витками нихромовой проволоки, имеющей радиус $r_p = 50,0$ мкм. Общая длина проволоки $l = 0,799$ м. Среднее расстояние между соседними витками $d = 0,8$ мм. Число витков, образующих АЭ термофона, $N = 16$. Расстояние от плоскости, в которой находятся АЭ, до отражающей поверхности составляет $h_1 = 9,2$ мм. Измеренное электрическое сопротивление не разогретой проволоки $R_e = 114$ Ом.

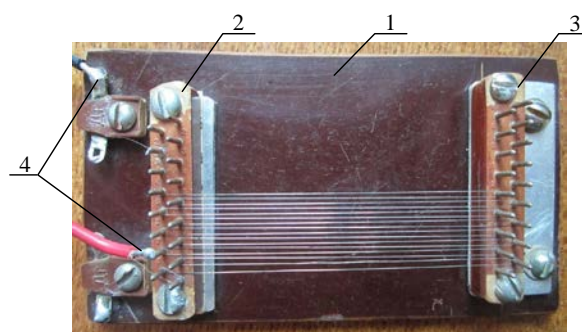


Рис. 4 Фотография устройства для испытаний проволочных термофонов: 1 – несущая пластина; 2, 3 – стойки; 4 – электрические контакты

Измерения акустических параметров термофонов проводились в заглушённой камере в диапазоне от 100 Гц до 10,0 кГц, что соответствует рабочему диапазону измерительного микрофона Туре 4943. В процессе измерений пиковая мощность переменного электрического тока была постоянной и составляла $p_e = 2,6$ Вт. Температура воздуха в помещении $T_0 = 293,6$ К. Температура нагрева поверхностей проволок, входящих в состав АЭ, $T_n = 320,0$ К. Анализ показывает, что рассматриваемый термофон работает в смешанном режиме излучения звука, и для расчёта амплитуды переменной температуры поверхности

провода необходимо использовать формулу (6), в которой учитываются все виды потерь.

Расчёт уровней звукового давления, создаваемого термофоном на центральной оси, производился по формуле (17). Результаты расчётов показаны на рис. 5, кривая – 1. На этом же рисунке представлены результаты измерений – 2 и усреднённые значения экспериментальных данных – 3.

Сопоставление кривых 1 и 3 показывает, что средние значения измерений на 10...15 дБ выше расчётных данных. Многократные измерения АЧХ этого типа термофонов подтверждают, что все они имеют характерные особенности, наличие которых хорошо отражено на рис. 6, кривая – 2. Здесь не наблюдается монотонное возрастание уровня звукового сигнала, как это имеет место на низких частотах у плёночных термофонов [8]. Спектр сигнала, излучаемого проволочным термофоном имеет характерные максимумы и минимумы, наличие которых указывает на то, что каждая проволока, образующая АЭ термофон, излучает звук индивидуально.

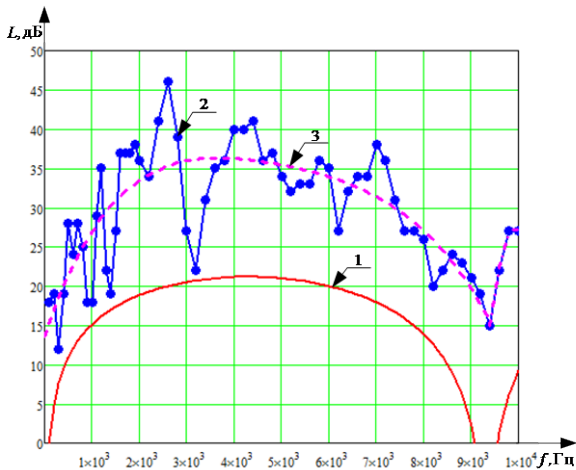


Рис. 5 Частотные зависимости уровня звукового давления: 1 – расчёт; 2 – экспериментальные данные центрального микрофона; 3 – усреднённые значения эксперимента

Минимум давления на частоте $f_{\min} = 9,4$ кГц является следствием формирования характеристики направленности термофона, что хорошо согласуется с теорией. Частота минимума полностью определяется значением h_1 и скоростью звука в газе, заполняющем верхнее полупространство.

Проволочный термофон без твёрдой подставки с двусторонним излучением, выполненный в форме спирали и обладающий равномерной АЧХ излучения, использовался для исследования формирования акустических полей в прямых трубах с открытыми торцами. Срез измерительного микрофона, ориентированного вдоль централь-

ной оси термофона, устанавливался на расстоянии 50,0 мм от края трубы, на другом конце которой на расстоянии 53,0 мм помещался АЭ термофона. Сигнал с микрофона после предварительного усиления подавался на цифровой анализатор.

На рис. 6, показана АЧХ сигнала, принимаемого микрофоном (кривая 2), полученная для трубы длиной $l = 1,0$ м, внутреннего радиуса $r_1 = 28,5$ мм и толщиной стенки трубы $h = 5,0$ мм.

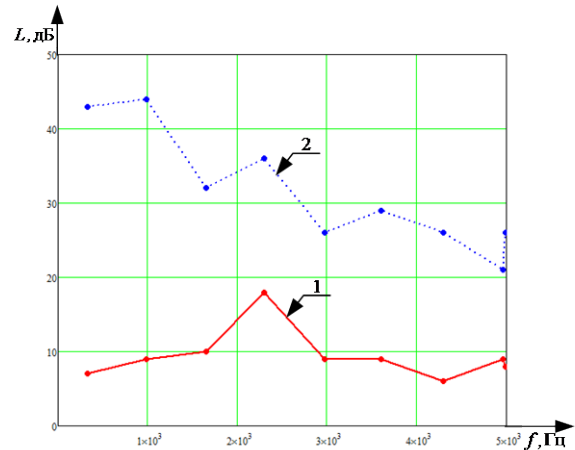


Рис. 6 Амплитудно-частотная характеристика проволочного термофона: 1 – без трубы; 2 – в трубе

Из рис. 6 видно, что, несмотря на малые уровни звукового сигнала, создаваемого проволочным термофоном (кривая 1), уровни акустического поля, возбуждённого в трубе и принимаемые микрофоном, достаточны для их надёжной регистрации. Это позволяет использовать результаты измерений для численных оценок акустических параметров исследуемой трубы.

Заключение

В заключении отметим, что увеличение акустической эффективности термофонов можно обеспечить за счёт введения дополнительных и комбинированных АЭ из m плоских термофонов, расположенных параллельно. В их состав входит активный плёночный элемент, нанесённый на поверхность твёрдого тела, и проволочный АЭ, расположенный параллельно на расстоянии h от плёночного.

Основным недостатком проволочных термофонов (см. рис. 3), является неравномерность АЧХ, что затрудняет их практическое применение. В то время как проволочные термофоны без твёрдой подставки с равномерной АЧХ и двусторонним излучением могут успешно использоваться для возбуждения звука в трубах.

Литература

1. Arnold H.D., Crandall I.B. The Thermophone as a Precision Source of Sound // Phys. Rev., 1917. – с. 22–38.
2. Shinoda H., Nakajima T., Ueno K., Koshida N. Thermally induced ultrasonic emission from porous silicon. Nature (London), Vol 400, 1999. – P. 853-855.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том VI. Гидродинамика // – М.: Наука, 1986. – с. 736.

4. *Васильев Б.П., Легуша Ф.Ф., Невеселова К.В.* Термоакустические излучатели низкочастотного звука и их применение в акустике. XXVII сессия РАО, посвящ. памяти учёных-акустиков «Крыловского ГНЦ» А.В. Смольякова и В.И. Попкова, СПб, 2014 г.
5. *Chitnis G., Kim A., Song S.H., Jessop A.M., Bolton J.S.* A thermophone on porous polymeric substrate. Birck and NCN Publications, 2012. – P. 1160.
6. *Васильев Б.П., Невеселова К.В., Легуша Ф.Ф.* Низкочастотные источники звука на основе термоакустического эффекта. Тр. НТК, проведённой в рамках Недели военной науки, ч. IV, СПб.: Издание ВМПИ, 2014 г. – с. 112-121.
7. *Легуша Ф.Ф., Невеселова К.В.* Широкополосные термоакустические источники звука – термофоны. СПб.: МИТ, № 3 (25), том 1, 2014, с. 71-77.
8. *Легуша Ф.Ф., Невеселова К.В.* Экспериментальные исследования современных термофонов. СПб.: МИТ, №4(30), том 1 2015, с. 59-64
9. *Невеселова К.В.* Расчёт амплитуды переменной температуры активного элемента термофона. СПб.: МИТ, № 4 (26), том 1, 2014, с. 110-115.
10. *Ржевкин С.Н.* Курс лекций по теории звука. – М.: Изд. МГУ, 1960. – 338 с.
11. *Скучик Е.* Основы акустики. Т. 2. – М.: Мир, 1976. – 548 с.
12. *Скучик Е.* Основы акустики. Т. 1. – М.: Мир, 1976. – 520 с.

References

1. *Arnold H.D., Crandall I.B.* The Thermophone as a Precision Source of Sound. Phys. Rev., 1917. pp. 22–38.
2. *Shinoda H., Nakajima T., Ueno K., Koshida N.* Thermally induced ultrasonic emission from porous silicon. Nature (London), Vol 400, 1999. pp. 853-855.
3. *Landau L.D., Lifshits E.M.* Teoreticheskaya fizika. Tom VI. Gidrodinamika. M.: Nauka, 1986. 736 p.
4. *Vasil'ev B.P., Legusha F.F., Neveselova K.V.* Termoakusticheskie izluchateli nizkochastotnogo zvuka i ikh primenenie v akustike. XXVII sessiya RAO, posvyashch. pamyati uchenykh-akustikov «Krylovskogo GNTs» A.V. Smol'yakova i V.I. Popkova, SPb, 2014.
5. *Chitnis G., Kim A., Song S.H., Jessop A.M., Bolton J.S.* A thermophone on porous polymeric substrate. Birck and NCN Publications, 2012. 1160 p.
6. *Vasil'ev B.P., Legusha F.F., Neveselova K.V.* Nizkochastotnye istochniki zvuka na osnove termoakusticheskogo effekta. Tr. NTK, Nedelya voennoy nauki, ch. IV, SPb.: Izdanie VMPI, 2014. pp. 112-121.
7. *Legusha F.F., Neveselova K.V.* Shirokopolosnye termoakusticheskie istochniki zvuka – termofony. SPb.: MIT, № 3 (25), том 1, 2014, pp. 71-77.
8. *Legusha F.F., Neveselova K.V.* Eksperimental'nye issledovaniya sovremennykh termofonov. SPb.: MIT, № 4(30) том 1. 2015, pp 59-64.
9. *Neveselova K.V.* Raschet amplitudy peremennoy temperatury aktivnogo elementa termofona. SPb.: MIT, № 4 (26), том 1, 2014, pp. 110-115.
10. *Rzhevkin S.N.* Kurs lektsiy po teorii zvuka. Moskow: Izd. MGU, 1960. 338 p.
11. *Skuchik E.* Osnovy akustiki. T. 2. M.: Mir, 1976. 548 p.
12. *Skuchik E.* Osnovy akustiki. T. 1. M.: Mir, 1976. 520 p.

УДК 536.23

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ РЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

Павловский Валерий Алексеевич

Доктор физико-математических наук, профессор
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3
e-mail: v.a.pavlovsky@gmail.com

Мишутинский Юрий Николаевич

Магистрант
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3
e-mail: ymishutinskiy@mail.ru

Неверов Сергей Александрович

Магистрант
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3
e-mail: neverov-sa@mail.ru

Аннотация

Модель идеального газа, которой отвечает уравнение Менделеева-Клапейрона, основана на пренебрежении размерами молекул и силами межмолекулярного взаимодействия. Эта модель успешно используется при решении многих важных практических задач, в том числе и при проведении газодинамических расчетов. Однако модель идеального газа во многих случаях оказывается слишком грубой, особенно для случаев больших давлений и низких температур, а также при описании поведения углеводородных газов. Поэтому в настоящее время в технической термодинамике эту модель заменяют моделями реального газа, в которых учитываются как размеры молекул, так и силы межмолекулярного взаимодействия. В работе проведён сравнительный анализ четырех термических моделей реального газа, для которых построены бинодали на фоне опытных данных. Показано, что все модели, за исключением уравнения Ли – Эрбара – Эдмистера, дают удовлетворительное согласование с экспериментом.

Ключевые слова: уравнения состояния реального газа, уравнение Менделеева-Клапейрона, бинодаль, метан, уравнение Ли-Эрбара-Эдмистера, идеальный газ, реальный газ, термодинамика, критическая точка, энергия, энтальпия.

COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS THERMAL MODELS STATE OF REAL GASES

Pavlovsky Valery Alekseevich

Doktor fiziko-matematicheskix nauk, professor
STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation
e-mail: v.a.pavlovsky@gmail.com

Mishutinskiy Yuri Nikolaevich

Magistrant
STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation
e-mail: ymishutinskiy@mail.ru

Neverov Sergei Aleksandrovich

Magistrant
STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation
e-mail: neverov-sa@mail.ru

Abstract

A model of an ideal gas, which corresponds to the equation of Mendeleev-Clapeyron, is based on neglect of molecular size and intermolecular forces. This model has been successfully used to solve many important practical problems, including issues of the gas-dynamic calculations. However, the model of an ideal gas in many cases is too rough, especially for the cases of high pressures and low temperatures, as well as for the description of the behavior of hydrocarbon gas. Therefore, presently in

the technical thermodynamics this model is replaced by a real gas models, which take into account the size of the molecules, and intermolecular forces. The paper provides a comparative analysis of the four thermal models of a real gas, for which on the basis of experimental data there is built a corresponding binodal. It is shown that all models except the equation of Lee-Erbara-Edmistera give satisfactory agreement with experiment.

Key words: Equation of state of a real gas, equation of Mendeleev-Clapeyron, binodal, methane, equation of Lee-Erbara-Edmistera, ideal gas, real gas, thermodynamics, critical point, energy, enthalpy.

Введение

Хорошо разработанный теоретический аппарат описания поведения идеальных газов не пригоден для реальных газов, поскольку для них становится необходимо учитывать взаимодействие между опытными данными и результатами, предсказываемыми моделью идеального газа, в некоторых случаях удаётся путём введения эмпирических поправок в уравнение состояния Менделеева – Клапейрона. Однако современные задачи теплофизики требуют как можно более точного описания характеристик веществ и процессов, что позволяет экономить материальные средства и предупреждать аварии. Сравнение моделей состояния реальных газов позволяет выявить более предпочтительные из них в том или ином случае.

Рассмотрим четыре термических уравнения состояния [2] при параметрах газа ниже критической точки и построим для них бинодали. При этом будем использовать следующие уравнения для определения внутренней энергии и энтальпии [4,5]:

$$u = u(v_0, T) + \int_{v_0}^v [T^2 \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v] dv, \\ i = u + pv$$

где p, v, T – параметры состояния – давление, удельный объем и температура; соответственно; u – удельная внутренняя энергия; i – удельная энтальпия.

- 1) Уравнение состояния Редлиха – Квонга [1]:

$$p = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{\sqrt{T}v(v+b)}$$

Это эмпирическое уравнение было получено Редлихом и Квонгом в 1949 году [4].

Кубический вид этого уравнения относительно удельного объема в критической точке имеет вид:

$$v^3 - \frac{RT_k}{p_k} v^2 + \left(\frac{a}{p_k T_k^{0.5}} - \frac{RT_k b}{p_k} - b^2 \right) v - \frac{a \cdot b}{p_k T_k^{0.5}} = 0 \\ u = c_v T + 1.5 \frac{a}{b \sqrt{T}} \ln \left(\frac{v+b}{v} \right)$$

- 2) Уравнение состояния Пенга-Робинсона [2]:

$$p = \frac{RT}{v-b} = \frac{a \cdot \gamma(T)}{v(v+b) + b(v-b)}$$

Уравнение было предложено Робинсоном и Пенгом в 1976 году. Функции $\gamma(T)$ вводится для

уточнения результатов, она может быть подобрана в зависимости от природы газа и его состояния [4].

Кубический вид этого уравнения относительно удельного объема в критической точке имеет вид:

$$v^3 + \left(b - \frac{RT_k}{p_k} \right) v^2 + \left(\frac{a \cdot \gamma(T) - 2bRT_k}{p_k} - 3b^2 \right) v + b^3 + \frac{RT_k b^2 - a \cdot \gamma(T) \cdot b}{p_k} = 0$$

- 2) Уравнение состояния Ли – Эрбара – Эдмистера [2]:

$$p = \frac{RT}{v-b} - \frac{a(T)}{v(v-b)} + \frac{b \cdot c(T)}{v(v-b)(v+b)}$$

Кубический вид этого уравнения относительно удельного объема в критической точке имеет вид:

$$v^3 - \frac{RT_k}{p_k} v^2 + \left(\frac{a}{p_k} - \frac{RT_k b}{p_k} - b^2 \right) v - \frac{a \cdot b - b \cdot c}{p_k} = 0 \\ u = c_v T - \left(\frac{da(T)}{dT} T - a(T) \right) \frac{1}{b} \ln \left| \frac{v-b}{v} \right| + \left(\frac{dc(T)}{dT} T - c(T) \right) \frac{1}{2b} \ln \left| \frac{v^2 - b^2}{v^2} \right|$$

- 3) Уравнение состояния Соаве – Редлиха – Квонга [6]:

$$p = \frac{RT}{v-b} - \frac{a \cdot \beta(T)}{v(v+b)}$$

Это одна из наиболее удачных модификаций модели Редлиха – Квонга, полученная Соаве [8] в 1972 году. Коэффициент β зависит от температуры газа и его природы, он выражается через ацентрический фактор Питцера.

Кубический вид этого уравнения относительно удельного объема в критической точке имеет вид:

$$v^3 - \frac{RT_k}{p_k} v^2 + \left(\frac{a \cdot \beta(T)}{p_k} - \frac{RT_k b}{p_k} - b^2 \right) v - \frac{a \cdot b \cdot \beta(T)}{p_k} = 0 \\ u = c_v T - \frac{a}{b} \left(\beta(T) - \frac{d\beta(T)}{dT} T \right) \ln \left| \frac{v+b}{v} \right|$$

Следуя схеме, содержащейся в монографии [4], выполним расчет бинодалей для уравнения Ван-дер-Ваальса, а также для приведенных выше уравнений состояния и сравним результаты этих расчетов с опытными данными для метана. Этот расчет удобно проводить в приведенных переменных. Тогда по уравнению Ван-дер-Ваальса имеем:

$$\int \pi(\varphi) d\varphi = \frac{3}{\varphi} - \frac{8\tau}{3} \ln(\varphi - 0.333)$$

Отсюда можно получить для бинодали соответствующие значения параметров на линии насыщения, представленные в таблице 1. Здесь и далее размерность температуры в ней – градусы Кельвина, давления – 10^5 Па удельного объема – 10^{-2} кг/м³, энтальпии – 10^5 Дж/кг.

Таблица 1

Результаты расчёта по уравнению Ван-дер-Ваальса

T'	180	170	160	150	140	130
p'	36,7	28,8	22,1	16,5	11,8	8,11
v'	0,412	0,365	0,335	0,314	0,297	0,283
v''	1,1	1,527	2,049	2,774	3,843	5,459

По модели Редлиха – Квонга также можно получить своё уравнение бинодали и далее значения параметров на линии насыщения, представленные в таблице 2.

$$\int \pi(\varphi) d\varphi = 3\tau \ln(\varphi - 0.25992) + \frac{14.802}{\sqrt{\tau}} \ln\left(\frac{\varphi + 0.25992}{\varphi}\right)$$

Таблица 2

Результаты расчёта по уравнению Редлиха – Квонга

T'	180	170	160	150	140	130
p'	33,34	23,55	15,88	10,13	5,999	3,24
v'	0,358	0,303	0,271	0,249	0,232	0,219
v''	1,404	2,22	3,469	5,54	9,288	16,74
i'	0,44	-0,29	-0,92	-1,5	-2,06	-2,62
i''	2,27	2,37	2,38	2,33	2,25	2,14
i''-i'	1,83	2,66	3,3	3,83	4,31	4,76

Модели Пенга – Робинсона соответствует своё уравнение бинодали. Значения параметров на линии насыщения, представлены в таблице 3.

$$\int \pi(\varphi) d\varphi = 3.253\tau \cdot \ln(\varphi - 0.25) + 6.8448\gamma(\tau) \cdot \ln\left(\frac{\varphi + 0.60355}{\varphi - 0.10355}\right)$$

Таблица 3

Результаты расчёта по уравнению Пенга – Робинсона

T'	180	170	160	150	140	130
p'	32,48	22,9	15,6	10,13	6,21	3,54
v'	0,373	0,302	0,266	0,242	0,226	0,213
v''	1,563	2,462	3,8	5,957	9,65	16,47
i'	0,87	0,26	-0,24	-0,68	-1,1	-1,49
i''	2,97	3,08	3,08	3,02	2,91	2,77
i''-i'	2,1	2,82	3,32	3,76	4,01	4,26

Для уравнения Ли – Эрбара – Эдмистера имеем:

$$\int \pi(\varphi) d\varphi = 3\tau \ln(\varphi - 3B) - \frac{3A}{B} \ln\left(\frac{\varphi - 3B}{\varphi}\right) - \frac{3C}{2B} \ln\left(\frac{\varphi^2}{\varphi^2 - B^2 f^2}\right)$$

Таблица 4

Результаты расчёта по уравнению Ли – Эрбара – Эдмистера

T'	180	170	160	150	140	130
p'	34,77	25,62	18,49	12,95	8,79	5,72
v'	0,45	0,41	0,388	0,379	0,377	0,38
v''	1,45	2,168	3,128	4,527	6,621	9,955
i'	0,74	0,32	0,01	-0,23	-0,46	-0,67
i''	2,59	2,74	2,77	2,75	2,68	2,58
i''-i'	1,85	2,42	2,76	2,98	3,14	3,25

И, наконец, для уравнения Соаве – Редлиха – Квонга:

$$\int \pi(\varphi) d\varphi = 3\tau \ln(\varphi - 0.25992) + 14.802\beta \cdot \ln\left(\frac{\varphi + 0.25992}{\varphi}\right)$$

Таблица 5

Результаты расчёта по уравнению Соаве – Редлиха – Квонга

T'	180	170	160	150	140	130
p'	33,47	23,79	16,26	10,58	6,5	3,7
v'	0,358	0,305	0,273	0,251	0,235	0,222
v''	1,393	2,188	3,364	5,26	8,495	14,53
i'	0,94	0,33	-0,18	-0,64	-1,07	-1,47
i''	2,95	3,07	3,07	3,01	2,91	2,77
i''-i'	2,01	2,74	3,25	3,65	3,98	4,24

Результаты расчетов можно сравнить с имеющимися опытными данными [3,7], которые приведены в таблице 6 для параметров метана на линии насыщения.

Таблица 6

Опытные данные для метана

T'	180	170	160	150	140	130
p'	32,88	23,38	15,88	10,33	6,375	3,671
v'	0,368	0,320	0,295	0,277	0,263	0,252
v''	1,691	2,593	3,996	6,223	9,971	16,81
i'	10,11	9,48	9,01	8,6	8,22	7,84
i''	12,59	12,73	12,78	12,75	12,67	12,55
i''-i'	2,48	3,25	3,77	4,15	4,45	4,71

Сравнение результатов расчётов с опытными данными для бинодали показано на рис.1 и рис. 2.

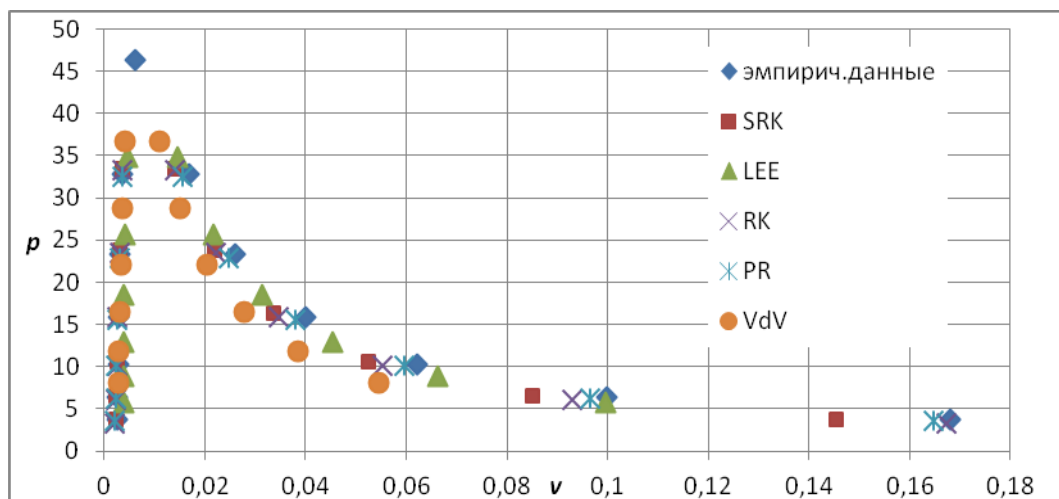


Рис. 1. Точки, лежащие на линии фазового перехода, определенные по различным моделям состояния реального газа в координатах $p-v$.

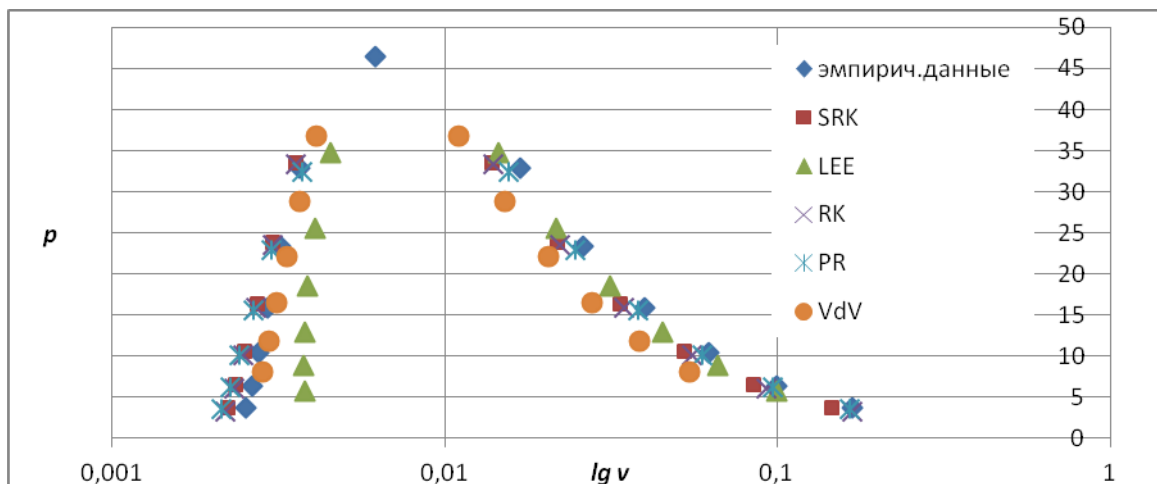


Рис. 2. Точки, лежащие на линии фазового перехода, определенные по различным моделям состояния реального газа в координатах $p-\lg(v)$.

Заключение

Видно, что построенная по разным моделям состояния реального газа бинодаль близка к полученной в ходе опыта. Наиболее точное приближение показали модели Пенга – Робинсона и Редлиха – Квонга.

В отношении энтальпии следует заметить, что при решении той или иной задачи зачастую требуется знать только изменение значений эн-

тальпии в ходе рассматриваемого термодинамического процесса. Видно, что все модели, за исключением уравнения Ли – Эрбара – Эдмистера, дают для этой величины удовлетворительное согласование с экспериментом. Расхождение же опытных значений энтальпии с полученными по рассмотренным моделям можно объяснить произволом выбора начала отсчета для неё.

Литература

1. Баталин О.Ю., Брусиловский А.И., Захаров М.Ю. Фазовые равновесия в системах природных углеводородов. М.: Недра, 1992. 272 с
2. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972. 721 с.
3. Загорученко В.А., Журавлев А.М. Теплофизические свойства газообразного и жидкого метана. М.: Изд-во Стандартов, мер и измерительных приборов, 1969. 210 с.
4. Курбатова Г.И. и др. Модели морских газопроводов. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005. 156 с.
5. Павловский В.А. Введение в термодинамику реальных газов. СПб.: Изд-во Крыловского государственного научного центра, 2013. 230 с.
6. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. Л.: Химия, 1982. 581 с.
7. Сжиженный природный газ. Физико-химические, энергетические и эксплуатационные свойства. Справочник под ред. И.Л. Ходоркова. СПб.: Химиздат, 2003. 292 с.
8. Soave G. Equilibrium constants from a modified Redlich — Kwong equation of state. Chemical Engineering Science, 1972. — Т. 27, вып. 6. — С. 1197—1203.

References

1. Batalin O.Ju., Brusilovskij A.I., Zaharov M.Ju. Fazovye ravnovesija v sistemah pri-rodnyh uglevodorodov. Moscow. Nedra, 1992. 272 p.
2. Vargaftik N.B. *Spravochnik po teplofizicheskim svojstvam gazov i zhidkостей*. Moscow. Nauka, 1972. 721 p.
3. Zagoruchenko V.A., Zhuravlev A.M. *Teplofizicheskie svojstva gazoobraznogo i zhidkogo metana*. Moscow. Publishing Standards, Measures and Measuring Instruments, 1969. 210 p.
4. Kurbatova G.I. i dr. *Modeli morskikh gazoprovodov*. Saint-Petersburg. Publ. SPbGU, 2005. 156 p.
5. Pavlovskij V.A. *Vvedenie v termodinamiku real'nyh gazov*. Saint-Petersburg. I Publishing Krylov State Research Center, 2013. 230 p.
6. Rid R., Prausnic Dzh., Shervud T. Svojstva gazov i zhidkостей. Leningrad. Himija, 1982. 581p.
7. Szhizhennyj prirodnyj gaz. Fiziko-himicheskie, jenergeticheskie i jekspluatacionnye svojstva. Spravochnik pod red. I.L. Hodorkova. Saint-Petersburg. Himizdat, 2003. 292 p.
8. Soave G. *Equilibrium constants from a modified Redlich — Kwong equation of state*. Chemical Engineering Science, 1972. T. 27, vyp. 6. — S. 1197—1203.



Научный журнал МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

190121 г. Санкт-Петербург, ул. Лощманская 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. Одна рецензия на публикуемую статью по соответствующей специальности с подписью, заверенной гербовой печатью. При междисциплинарном исследовании предоставляются две рецензии от экспертов различных областей наук по соответствующей тематике.
4. Акт экспертизы на открытую публикацию (при необходимости)
5. Лицензионный договор

Перечисленные документы (кроме акта экспертизы) могут быть переданы в редакцию по электронной почте по адресу mit-journal@mail.ru (по этому же адресу осуществляется текущая переписка с редакцией).

По желанию авторов, документ 1 в бумажной версии и компакт-диск с документами 2 и 3 могут быть либо присланы по почте в адрес редакции, либо доставлены непосредственно в редакцию, либо переданы одному из членов редколлегии. Оригинал акта экспертизы должен быть либо прислан по почте в адрес редакции, либо доставлен непосредственно в редакцию, либо переданы одному из членов редколлегии.

На страницах журнала публикуются новые научные разработки, новые результаты исследований, новые методы, методики и технологии в области кораблестроения, информатики, вычислительной техники и управления. Это является основным требованием к статьям.

Каждая статья, принятая редколлегией для рассмотрения, проходит также внутреннюю процедуру рецензирования. По результатам рецензирования статья может быть либо отклонена, либо отослана автору на доработку, либо принята к публикации. Рецензентом может быть специалист по профилю статьи с ученой степенью не ниже кандидата наук.

Редколлегия не вступает с авторами в обсуждение соответствия их статей тематике журнала. **Журнал публикуется в цветном варианте.**

Плата с аспиранта в случае, если он является единственным автором, за публикацию статьи не взимается.

Стоимость публикации 8500 рублей по выставяемому по запросу счету.

Авторы несут ответственность за содержание статьи и за сам факт ее публикации. Редакция журнала не несет ответственности за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи. Если публикация статьи повлекла нарушение чьих-либо прав или общепринятых норм научной этики, то редакция журнала вправе изъять опубликованную статью.

Главный редактор научного журнала
"МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

д.т.н. проф. Никитин Н.В.

УДК 629.12.001.2

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ для научного журнала "МОРские ИНтеллектуальные ТЕХнологии"

Никитин Николай Васильевич

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования судов
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
190008, Санкт-Петербург, ул. Лощманская, 3
e-mail: morintex_spb@mail.ru

Аннотация

В работе предлагаются правила оформления статей для научного журнала «Морские интеллектуальные технологии» в текстовом процессоре MS Word 97-2003 по требованиям для публикации в научном журнале ВАК, а также международных реферативных баз данных Scopus и Web of Science. Инструкция представляет собой специальную заготовку, которая служит базисом для создания конкретной статьи.

Аннотация предоставляется авторами в расширенном виде. Объем: не менее 950 и не более 1800 знаков (с пробелами), то есть 100-250 слов. В аннотации должны быть четко определены цель работы, ее новизна, представлены основные выводы. Языки – русский и английский.

Типичная структура аннотации: состояние вопроса; материалы и/или методы исследования, результаты; заключение.

Методы в аннотации только называются. Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и выводам, которые, по мнению автора статьи, имеют практическое значение. Следует указать пределы точности и надёжности данных, а также степень их обоснования. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, описанными в статье.

Ключевые слова: Список ключевых слов должен характеризовать предметную область исследования. Недопустимо использование терминов общего характера (например, проблема, решение), не являющихся специфической характеристикой публикации. Количество ключевых слов должно быть 8-10.

GUIDELINES FOR PREPARATION OF ARTICLES FOR THE ACADEMIC PERIODICAL «MARINE INTELLIGENCE TECHNOLOGIES»

Nikitin Nikolay Vasilevich

the professor, Dr.Sci.Tech.,
the professor of department of ship design
State marine technical university of Saint-Petersburg
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation
e-mail: morintex_spb@mail.ru

Abstract

The paper suggests rules for formatting articles to be submitted for the "Maritime Smart Technologies" academic periodical in the MS Word Processor 97-2003 according to the requirements set out for publication in an academic periodical of the State Commission for Academic Degrees and Titles as well as in the international Scopus and Web of Science bibliographic databases. The guidelines represent a special template which serves as a basis for creation of a certain article.

The authors should submit an extended abstract. The abstract should contain minimum 950 and maximum 1800 characters (including spaces), i. e. 100–250 words. The abstract must cover the objective and novelty of the paper and reflect the main conclusions. The languages of the abstract should be Russian and English.

The standard structure of an abstract is as follows: the state-of-the-art summary; data for study and/or research techniques; findings; conclusion.

The techniques should only be mentioned in the abstract. The findings should be described as accurately and informatively as possible. The major theoretical and experimental results, actual data, discovered interrelations and common factors should be reflected. Still new results and conclusions which, from the author's point of view, are of practical importance are put above. The data accuracy and reliability limits as well as the degree of their verification should be indicated. The conclusions can be accompanied by recommendations, estimations, suggestions described in the article.

Key words: The list of key words must be specific for the subject field of the investigation. General terms (e. g. problem, solution) which are not specific for this publication are inadmissible. The key words should amount to 8–10.

Введение

При подготовке статей у авторов нередко возникают трудности, связанные с необходимостью жестко выдерживать требуемые форматы подготовки текстов.

Вместе с тем, в современных текстовых процессорах существуют развитые средства поддержки общезначимых и специализированных шаблонов, автоматизирующих эту деятельность. Учитывая вышесказанное, автор данной инструкции подготовил специализированный шаблон создания camera ready текстов статей, представляемых в редакцию.

Данная инструкция не обычный текст, а заготовка, которую авторы работ, представляемых в журнал, должны редактировать для получения качественных текстов статей.

Обращаясь к авторам, редакция журнала доводит до их сведения требования к оформлению статей. Суть их сводится к тому, что, с одной стороны, предоставленная авторами информация должна быть интересной и понятной международному научному сообществу без обращения к полному тексту статьи. а с другой – должны быть обеспечены возможности контекстного поиска и аналитической обработки данных.

Фамилии авторов должны быть транслитерированы, или указаны так же, как в ранее опубликованных в зарубежных журналах статьях. Должны быть представлены адресные сведения о месте работы авторов, должность, ученая степень и ученое звание.

Название организации переводится на английский язык без составных частей названий организаций, обозначающих принадлежность ведомству, форму собственности, статус организации с указанием полного юридического адреса в следующей последовательности: улица, дом, город, индекс, страна. Наиболее полный список названий учреждений и их официальной англоязычной версии можно найти на сайте НЭБ eLibrary.ru. Название статьи, ключевые слова и аннотация также переводятся на английский язык. Все переводы должны быть высококачественными.

Название статьи должно быть информативным, можно использовать только общепринятые в международном научном общении сокращения. В переводе названия недопустимы транслитерации с русского языка, кроме неперебиваемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также неперебиваемый

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 самого ready текстов для публикации в журнале.

3. Основные правила подготовки статей на базе шаблона Mor-Inst

3.1. Общие замечания по объему и формату статьи

По решению редакции объемы принимаемых к публикации материалов должны отвечать следующим ограничениям

- объем статьи должен быть не более 5 стр.;
- текст доклада должен укладываться в целое число страниц.

Все материалы должны быть сформатированы для последующей печати на стандартных листах формата А4 со следующим Layout (Параметрами страницы) (рис. 1).

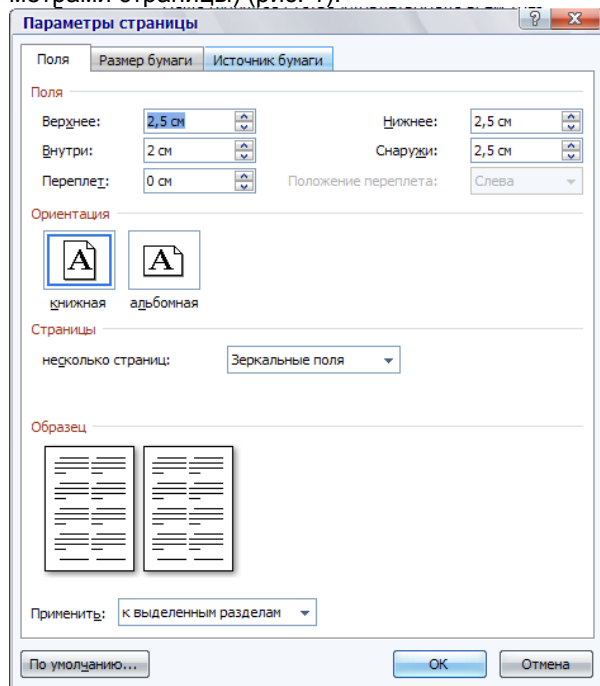


Рис. 1. Общий Layout страницы

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.
- Для каждого автора статья:

Фамилия Имя Отчество

ученое звание, ученая степень,

должность

Место работы

Адрес работы (или проживания для неработающих)

E-mail

Все кеглем 9 все в именительном падеже

- 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.

3.3. 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'a, то используйте следующие размеры шрифтов:

- для названия статьи **Arial 13 прописной, жирный;**
- для УДК и идентификации автора (ов) статьи **Arial 9 курсив;**
- для адреса (ов) автора (ов) статьи **Arial 11;**
- для аннотации **Arial 9, границы текста +10 мм слева и -10 мм справа;**
- для текста статьи **Arial 9,5, абзацный отступ 5 мм;**
- для списка литературы **Arial 10,5, жирный, по центру, интервал сверху 12 пт, снизу 4 пт, абзацный отступ 0;**
- для заголовков разделов статьи **Arial 10,5, жирный по центру, интервал сверху 12 пт, снизу 4 пт, абзацный отступ 0;**
- для заголовков подразделов статьи **Arial 9,5, курсив по центру, интервал сверху 12 пт, снизу 4 пт, абзацный отступ 0;**
- для подрисуночных подписей **Arial 8,5, курсив, по центру, интервал сверху 4 пт, снизу 9,5 пт, абзацный отступ 0;**
- для подстраничных ссылок **Arial 8,5, абзацный отступ 0,5.**

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**¹. Каждое графическое изображение должно представлять собой **единый, цельный** объект.

По возможности используйте для графического материала минимально требуемое разрешение. Это существенно уменьшает объем пересылаемого материала.

Во всех случаях обращайтесь внимание на то, чтобы текстовые подписи на рисунках были набраны с использованием тех же шрифтов, что и основной текст и меньшим размером.

¹ Статьи с рисунками, нарисованными в тексте документа с помощью панели "Рисование" MS Word 97-2003, рассматриваются редакцией в индивидуальном порядке по согласованию с авторами статей.

3.2. 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	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

Перед и после таблицы одна пустая строка основного текста.

ФОРМУЛЫ И РИСУНКИ НЕ РАЗМЕЩАТЬ В ТАБЛИЦЕ!!!

3.4. 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).

$$\forall x \in [a, b] F(x) \leq \varpi \tag{1}$$

Все формулы набираются тем же шрифтом, что и основной текст.

ФОРМУЛЫ НЕ СОХРАНЯТЬ КАК РИСУНОК!!!

Если же это, по каким-либо причинам неудобно и/или невозможно, воспользуйтесь установками, приведенными на рис. 2.

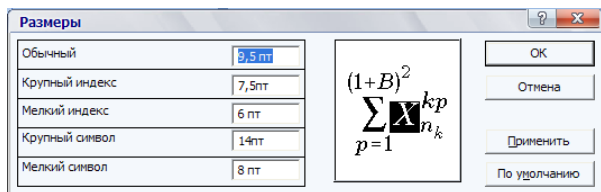
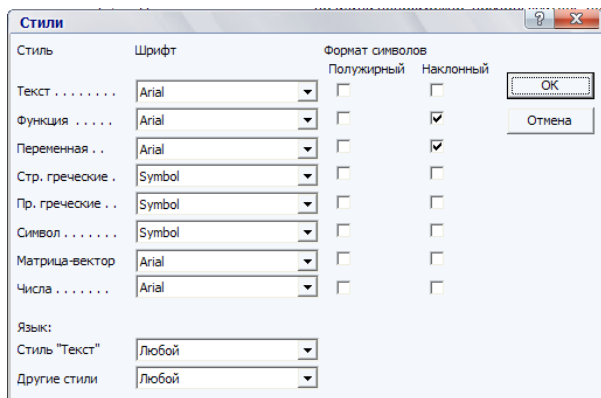


Рис. 2. Установки шрифтов и размеров в MS Equation

Обратите внимание на то, что при наборе формул в тексте, возможно изменение «интервальности». Не бойтесь этого и не пытайтесь уменьшить размер используемого шрифта до нечитаемого уровня. Аналогичное замечание справедливо и для формул, располагаемых в отдельной строке.

3.5. 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.

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:

$$N_y(t) = \frac{Eh}{1-\mu^2} \left[\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{w}{R} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \frac{\partial w_0}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial y} \right] = \frac{Eh}{1-\mu^2} \xi(t). \tag{2}$$

Пример рисунка на полный формат:

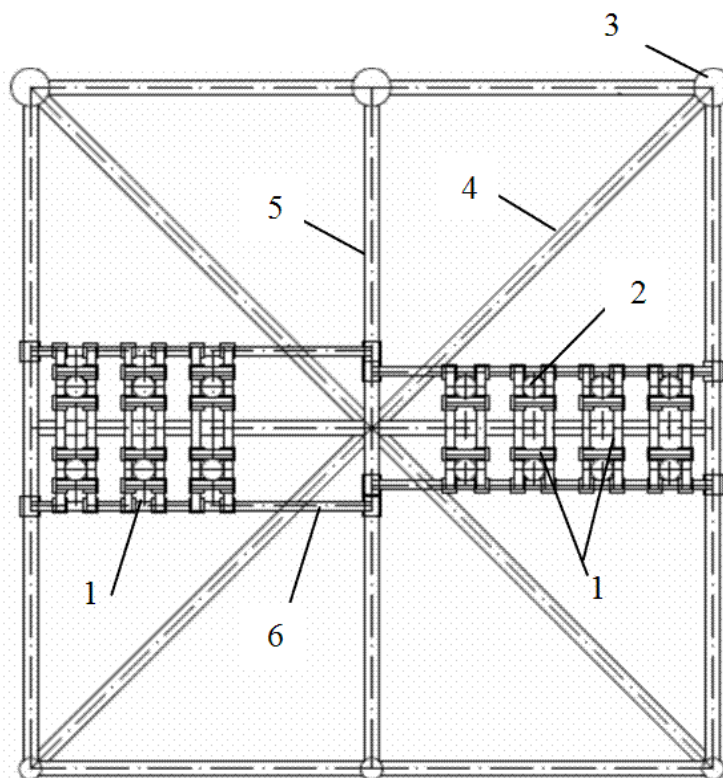


Рис. 3. Раскрепление водоотделяющих колонн с помощью жестких рам (вид в плане на диафрагму МСП):
 1 – жесткие рамы; 2 – водоотделяющие колонны; 3 – вертикальные стойки опорного блока; 4 – раскосы опорного блока; 5 – распорка опорного блока; 6 – фундамент жесткой рамы

Заключение

Автор данной инструкции руководствовался единственной целью – уменьшить авторам сложность подготовки статей для журнала.

Дополнительная информация (на русском, английском или обоих языках)

Информация о спонсорстве. Необходимо указывать источник финансирования как научной работы, так и процесса публикации статьи (фонд, коммерческая или государственная организация и др.). Указывать размер финансирования не требуется.

Благодарности. Авторы могут выразить благодарности людям и организациям, способствовавшим публикации статьи в журнале, но не являющимся её авторами

Литература

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.

Литература и References пишутся в одну колонку без переносов

References

Список литературы на русском языке **КРОМЕ ТОГО** 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.

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 подтверждают, что статья ранее не была где-либо опубликована, и берут на себя ответственность за возможные нарушения авторских прав третьих лиц.

Материал выверен, цифры, факты, цитаты сверены с первоисточником, материал не содержит сведений ограниченного распространения.

Авторы дают согласие на редактирование статьи, а также на использование её полнотекстовой версии путем размещения на официальном сайте научного журнала "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ" включения в различные базы данных и информационные системы.

Авторы разрешают использовать указанные в статье персональные данные и дают согласие на их опубликование.

Авторы согласны с тем, что редакция имеет право на литературное редактирование и доведение статьи до редакторских стандартов, принятых в рамках журнала.

Авторы разрешают публикацию статьи в открытом доступе на электронных ресурсах в PDF-формате и прилагают лицензионный договор от каждого автора(соавтора) статьи.

Подпись

<Дата>

Шаблон рецензии

В редакцию журнала
" МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ "
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3

РЕЦЕНЗИЯ

Статья: <Заголовок статьи>.
Статья:<Фамилии И.О. авторов>

I. Информация для редакции

1. Соответствие статьи тематике журнала:
 - статья соответствует тематике журнала (да/нет)
 - если нет, то какие альтернативные журналы могут быть предложены авторам для рассмотрения?
2. Оригинальность и значимость результатов статьи (да/нет/другие оценки):
 - результаты оригинальны
 - результаты имеют научную значимость
 - результаты имеют практическую значимость
3. Качество изложения материала статьи (да/нет/другие оценки):
 - является ли аннотация достаточно информативной
 - понятность изложения статьи
 - следует ли сократить размер статьи
 - ясно ли указана цель статьи
 - адекватно ли определено место статьи в круге других работ
 - можно ли понизить степень подробности математических выкладок
 - адекватен ли список цитированной литературы
 - все ли рисунки и таблицы уместны
 - имеются ли ошибки и технические погрешности
 - строгость изложения математических и экспериментальных результатов
 - достаточно ли обоснованы результаты и выводы статьи
4. Заключение (да/нет)
 - статья может быть принята для публикации без доработки
 - статья требует доработки и повторного рецензирования
 - статья не может быть принята для публикации
 - статью следует передать другому специалисту на рецензирование
5. Замечания и рекомендации по статье для членов редколлегии

Должность, ученое звание и научная степень

<Дата>

<Подпись рецензента>

II. Замечания и рекомендации по статье для авторов

Лицензионный договор № _____

г. Санкт-Петербург

«___» _____ 20 ____ года

Общество с ограниченной ответственностью «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» (ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»), именуемое в дальнейшем "Лицензиат", в лице заместителя генерального директора-главного редактора научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» Никитин Николая Васильевича, действующего на основании Доверенности № 1-59, удостоверенной нотариусом Санкт-Петербурга Володиным А.В. 21.01.2014г, с одной стороны, и **Гражданин РФ** _____, именуемый в дальнейшем "Лицензиар", с другой стороны, именуемые в дальнейшем "**Сторона/Стороны**", заключили настоящий договор (далее - "**Договор**") о нижеследующем.

1. Предмет Договора

1.1. По настоящему Договору **Лицензиар** на безвозмездной основе предоставляет **Лицензиату право** использования _____,

(наименование, характеристика передаваемых материалов)

именуемого в дальнейшем "**Произведение**", на основе неисключительной лицензии в обусловленных Договором пределах и на определенный Договором срок.

1.2. **Лицензиар** гарантирует, что он обладает исключительными авторскими правами на передаваемое **Лицензиату** Произведение.

2. Права и обязанности Сторон

2.1. Лицензиар предоставляет Лицензиату на весь срок действия исключительных прав на Произведение следующие права:

2.1.1. право на воспроизведение Произведения (опубликование, обнародование, дублирование, тиражирование или иное размножение Произведения) без ограничения тиража экземпляров. При этом каждый экземпляр Произведения должен содержать имя **автора** Произведения;

2.1.2. право на распространение Произведения любым способом;

2.1.3. право на включение в составное произведение;

2.1.4. право на доведение до всеобщего сведения;

2.1.5. на использование метаданных (название, имя автора (правообладателя), аннотации, библиографические материалы и пр.) Произведений путем распространения и доведения до всеобщего сведения, обработки и систематизации, а также включения в различные базы данных и информационные системы.

2.1.6. право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему договору права третьим лицам без выплаты **Лицензиару** вознаграждения.

2.2. **Лицензиар** передает права **Лицензиату** по настоящему Договору на основе неисключительной лицензии.

2.3. **Лицензиар**, в течение трех рабочих дней обязан предоставить **Лицензиату** Произведение в **электронной версии в формате инструкции по подготовке статей для научного журнала «Морские интеллектуальные технологии» (ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»)** для ознакомления. В течение 30 (тридцать) рабочих дней, если **Лицензиатом** не предъявлены к **Лицензиару** требования или претензии, связанные с качеством (содержанием) или объемом предоставленному для ознакомления Произведению, Стороны подписывают Акт приема-передачи Произведения.

2.4. Дата подписания Акта приема-передачи Произведения является моментом передачи **Лицензиату** прав, указанных в настоящем Договоре.

2.5. **Лицензиат** обязуется соблюдать предусмотренные действующим законодательством авторские права, права **Лицензиара**, а также осуществлять их защиту и принимать все возможные меры для предупреждения нарушения авторских прав третьими лицами.

2.6. Территория, на которой допускается использование прав на Произведения, не ограничена.

2.7. **Лицензиар** также предоставляет **Лицензиату** право хранения и обработки следующих своих персональных данных без ограничения по сроку:

- фамилия, имя, отчество;
- дата рождения;
- сведения об образовании;
- сведения о месте работы и занимаемой должности;

• сведения о наличии опубликованных произведений литературы, науки и искусства. Персональные данные предоставляются для их хранения и обработки в различных базах данных и информационных системах, включения их в аналитические и статистические отчетности, создания обоснованных взаимосвязей объектов произведений науки, литературы и искусства с персональными данными и т.п.

Лицензиат имеет право передать указанные данные для обработки и хранения третьим лицам при условии уведомления о таком факте с предоставлением сведений о третьем лице (наименование и адрес) **Лицензиару**.

Отзыв согласия на хранение и обработку персональных данных производится **Лицензиаром** путем направления соответствующего письменного уведомления **Лицензиату**.

3. Ответственность Сторон

3.1. **Лицензиар** и **Лицензиат** несут в соответствии с действующим законодательством РФ имущественную и иную юридическую ответственность за неисполнение или ненадлежащее исполнение своих обязательств по настоящему Договору.

3.2. Сторона, ненадлежащим образом исполнившая или не исполнившая свои обязанности по настоящему Договору, обязана возместить убытки, причиненные другой Стороне, включая упущенную выгоду.

4. Конфиденциальность

4.1. Условия настоящего Договора и дополнительных соглашений к нему - конфиденциальны и не подлежат разглашению.

5. Заключительные положения

5.1. Все споры и разногласия Сторон, вытекающие из условий настоящего Договора, подлежат урегулированию путем переговоров, а в случае их безрезультатности, указанные споры подлежат разрешению в суде в соответствии с действующим законодательством РФ.

5.2. Настоящий Договор вступает в силу с момента подписания обеими Сторонами настоящего Договора и Акта приема-передачи Произведения.

5.3. Настоящий Договор действует до полного выполнения Сторонами своих обязательств по нему.

5.4. Расторжение настоящего Договора возможно в любое время по обоюдному согласию Сторон, с обязательным подписанием Сторонами соответствующего соглашения об этом.

5.5. Расторжение настоящего Договора в одностороннем порядке возможно в случаях, предусмотренных действующим законодательством, либо по решению суда.

5.6. Любые изменения и дополнения к настоящему Договору вступают в силу только в том случае, если они составлены в письменной форме и подписаны обеими Сторонами настоящего Договора.

5.7. Во всем, что не предусмотрено настоящим Договором, Стороны руководствуются нормами действующего законодательства РФ.

5.8. Настоящий Договор составлен в двух экземплярах, имеющих одинаковое содержание и равную юридическую силу, по одному для каждой из Сторон.

6. Реквизиты Сторон.

Лицензиар:

ФИО, дата рождения, паспорт, адрес регистрации

Лицензиат:

ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»
Адрес: 190121, г. Санкт-Петербург,
ул. Лоцманская д. 3
ИНН 7813074883, КПП 783901001
р/с 40702810255080004491
Северо-западный банк
ОАО «Сбербанк России» в Санкт-Петербурге
БИК 044030653
к/с 30101810500000000653

Лицензиар:

Лицензиат

Заместитель Генерального директора
ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»

_____/Никитин Н.В./

АКТ
к лицензионному договору № _____

г. Санкт-Петербург

« ____ » _____ 20 ____ года

Общество с ограниченной ответственностью «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» (ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»), именуемое в дальнейшем "Лицензиат", в лице заместителя генерального директора-главного редактора научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» Никитин Николая Васильевича, действующего на основании Доверенности № 1-59, удостоверенной нотариусом Санкт-Петербурга Володиным А.В. 21.01.2014г, с одной стороны, и **Гражданин РФ _____**, именуемый в дальнейшем "Лицензиар", с другой стороны, именуемые в дальнейшем "**Сторона/Стороны**", составили настоящий акт (далее – «Акт») к лицензионному договору № _____ от « ____ » _____ года (далее - "**Договор**") о нижеследующем.

1. **Лицензиар** передал, а **Лицензиат** принял в соответствии с условиями Договора 1 (один) экземпляр Произведения - _____ (наименование и характеристика) - и право его использования.
2. **Стороны** взаимных претензий по порядку и объему исполнения обязательств по Договору не имеют.
3. Настоящий Акт составлен в двух экземплярах, имеющих равную юридическую силу, по одному для каждой из Сторон.

Реквизиты Сторон.

Лицензиар:

ФИО, дата рождения, паспорт, адрес
регистрации

Лицензиат:

ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»
Адрес: 190121, г. Санкт-Петербург,
ул. Лоцманская д. 3
ИНН 7813074883, КПП 783901001
р/с 40702810255080004491
Северо-западный банк
ОАО «Сбербанк России»
в Санкт-Петербурге
БИК 044030653
к/с 30101810500000000653

Лицензиар:

Лицензиат

Заместитель Генерального директора
ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»

_____/Никитин Н.В./

Правила направления, рецензирования и опубликования научных статей в научном журнале «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

1. Правила направления

Автор (Авторы) подготавливает текст рукописи научной статьи на русском языке (название, данные про авторов и ключевые слова и на английском языке) в электронном виде в соответствии с Инструкцией по подготовке статей для научного журнала "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ".

1.1. Автор направляет на имя главного редактора сопроводительное письмо в установленной форме в соответствии с Инструкцией по подготовке статей для научного журнала "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ".

1.2. Кроме статьи, в редакцию в соответствии с Инструкцией по подготовке статей для научного журнала "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ" предоставляются:

1. одна рецензия на публикуемую статью по соответствующей специальности с подписью, заверенной гербовой печатью. При междисциплинарном исследовании предоставляются две рецензии от экспертов различных областей наук по соответствующей тематике.
2. Акт экспертизы на открытую публикацию (при необходимости).
3. Лицензионный договор, распечатанный и подписанный каждым автором.

1.3. В рецензии в свободной форме освещаются следующие вопросы: соответствует ли название статьи ее содержанию, в какой мере статья соответствует современным достижениям в рассматриваемой области научных знаний, удачно ли выбрана форма подачи материала, а также дается описание достоинств и недостатков статьи. В конце рецензии делается заключение о целесообразности публикации рецензируемого материала.

В рецензии обязательно указывается Ф.И.О., должность, ученая степень рецензента, дата. Рецензия должна быть заверена подписью рецензента и печатью организации.

Первоначальный вариант статьи, а также предоставленные рецензии хранятся в архиве редакции не менее года (как официальные документы).

1.4. Лицензионный договор в соответствии с Инструкцией по подготовке статей для научного журнала "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ" предоставляется в редакцию в распечатанном виде на бумажном носителе или в отсканированном виде. Он должен быть собственноручно подписан автором (соавторами) шариковой ручкой с синими чернилами.

1.5. Авторы предоставляют статьи и все сопроводительные документы в электронном виде и/или лично, либо по почте заказным письмом по адресу:

190121 Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д.3.

Редакция научного журнала "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

1.6. 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.

В журнале печатаются материалы, ранее не опубликованные и не предназначенные к одновременной публикации в других изданиях. Авторы статей несут ответственность за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция не всегда разделяет мнение авторов и не несет ответственности за недостоверность публикуемых данных.

1.7. Гонорар авторам не выплачивается. С аспирантов плата за публикацию статей не взимается.

1.8. Рукописи авторам не возвращаются.

1.9. Издание осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, соответствующих ее тематике, с целью их экспертной оценки. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и имеют в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи. Рецензии хранятся в издательстве и в редакции издания в течение 5 лет.

1.10. Редакция издания направляет авторам представленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ, а также обязуется направлять копии рецензий в Министерство образования и науки Российской Федерации при поступлении в редакцию издания соответствующего запроса.

2. Правила рецензирования

2.1. При поступлении статьи в редакцию научной периодики, редактором издания производится оценка ее соответствия требованиям к оформлению рукописи, а также правилам предоставления рукописей. При нарушении правил предоставления рукописей статья отправляется автору на доработку. Рукописи, поступающие для опубликования в журнале, проверяются на соответствие техническим требованиям и профилю журнала. Материалы, не отвечающие этим условиям, возвращаются авторам с указанием причин отказа в приеме.

2.2. Поступающие от авторов научные статьи проходят редакционную научную экспертизу, определяющую их соответствие заявленной проблематике, уровень раскрытия темы, научную новизну.

Целью научной экспертизы, осуществляемой редколлегией научного журнала "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ", является содержательная экспертная оценка качества научной статьи по следующим обязательным критериям научности:

- соответствие названия статьи ее содержанию;
- формулировка решаемой проблемы или задачи;
- обоснование актуальности представленных материалов;
- исследовательский характер статьи;
- аргументированность изложения и выводов, в частности, наличие ссылок на использованную литературу и другие информационные источники;
- научная новизна и практическая значимость полученных результатов;
- наличие выводов по результатам статьи;
- наличие списка литературы со ссылками на источники из него из текста статьи.
- **Определение соответствия содержания статьи тематике журнала.** Если содержание статьи не соответствует тематике издания, она снимается с рассмотрения, об этом сообщается авторам. Материалы авторам не возвращаются.

Экспертизу осуществляют члены редколлегии научного журнала "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ", являющиеся специалистами в соответствующих областях знаний.

2.3. В случае выявления несоответствия предоставленных материалов вышеприведенным критериям, научные редакторы передают рукопись главному редактору для вынесения решения о рекомендации доработки статьи либо ее отклонении от публикации.

Если статья нуждается в доработке, то высылается отзыв члена редакционной коллегии с замечаниями. После исправления автор высылает в редакцию статью повторно. Возвращение рукописи на доработку не означает, что статья принята к печати.

Доработанный вариант необходимо прислать в редакцию повторно, отдельно приложив письмо с ответами на замечания члена редакционной коллегии. Датой поступления статьи считается время поступления в редакцию окончательного (переработанного) варианта.

2.4. Статьи, принятые редакцией научных журналов, распределяются по рубрикам, соответствующим научными направлениями, по которым специализируется журнал.

3. Правила опубликования научных статей, аннотаций и ключевых слов

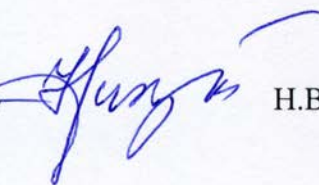
3.1. Принятые к публикации статьи проходят редактирование, предусматривающее предпечатную подготовку статьи к размещению в очередном номере журнала.

3.3. Тиражирование журнала производит издательско-полиграфический центр НИЦ «МОРИНТЕХ» в строгом соответствии с периодичностью выхода в свет издания.

3.4. Перепечатка допускается только с разрешения редакции.

Главный редактор научного журнала

«МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»



Н.В. Никитин

Шаблон для сопроводительного письма авторов

В редакцию журнала
" МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ "

190008 г.

Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3

СОПРОВОДИТЕЛЬНОЕ ПИСЬМО

Просим опубликовать в журнале " МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ " статью
<заголовок статьи>.

Авторами статьи являются <перечень Ф.И.О. авторов полностью>.

Работа выполнена в <полное и сокращенное название учреждения (учреждений)>.

Текущую переписку по вопросам публикации статьи следует вести с <Фамилия И.О.>.

Координаты для обратной связи:

1. Почтовый адрес (с индексом)

2. E-mail

3. Тел. служебный и домашний (с кодом города)

Авторы согласны с тем, что редакция имеет право на литературное редактирование и доведение статьи до редакторских стандартов, принятых в рамках журнала.

Авторы разрешают публикацию статьи в открытом доступе на электронных ресурсах в PDF-формате и прилагают лицензионный договор от каждого автора(соавтора) статьи.

Подпись

<Дата>

Шаблон рецензии

В редакцию журнала
" МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ "
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3

РЕЦЕНЗИЯ

Статья: <Заголовок статьи>.
Статья:<Фамилии И.О. авторов>

I. Информация для редакции

6. Соответствие статьи тематике журнала:
 - статья соответствует тематике журнала (да/нет)
 - если нет, то какие альтернативные журналы могут быть предложены авторам для рассмотрения?
7. Оригинальность и значимость результатов статьи (да/нет/другие оценки):
 - результаты оригинальны
 - результаты имеют научную значимость
 - результаты имеют практическую значимость
8. 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
9. 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
10. Замечания и рекомендации по статье для членов редколлегии

Должность, ученое звание и научная степень

<Дата>

<Подпись рецензента>

II. Замечания и рекомендации по статье для авторов

Лицензионный договор № _____

г. Санкт-Петербург

«__» _____ 20 года

Общество с ограниченной ответственностью «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» (ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»), именуемое в дальнейшем "Лицензиат", в лице заместителя генерального директора-главного редактора научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» Никитин Николая Васильевича, действующего на основании Доверенности № 1-59, удостоверенной нотариусом Санкт-Петербурга Володиным А.В. 21.01.2014г, с одной стороны, и Гражданин РФ _____, именуемый в дальнейшем "Лицензиар", с другой стороны, именуемые в дальнейшем "Сторона/Стороны", заключили настоящий договор (далее - "Договор") о нижеследующем.

1. Предмет Договора

1.1. По настоящему Договору Лицензиар на безвозмездной основе предоставляет Лицензиату право использования _____,

(наименование, характеристика передаваемых материалов)

именуемого в дальнейшем "Произведение", на основе неисключительной лицензии в обусловленных Договором пределах и на определенный Договором срок.

1.2. Лицензиар гарантирует, что он обладает исключительными авторскими правами на передаваемое Лицензиату Произведение.

2. Права и обязанности Сторон

2.1. Лицензиар предоставляет Лицензиату на весь срок действия исключительных прав на Произведение следующие права:

2.1.1. право на воспроизведение Произведения (опубликование, обнародование, дублирование, тиражирование или иное размножение Произведения) без ограничения тиража экземпляров. При этом каждый экземпляр Произведения должен содержать имя автора Произведения;

2.1.2. право на распространение Произведения любым способом;

2.1.3. право на включение в составное произведение;

2.1.4. право на доведение до всеобщего сведения;

2.1.5. на использование метаданных (название, имя автора (правообладателя), аннотации, библиографические материалы и пр.) Произведений путем распространения и доведения до всеобщего сведения, обработки и систематизации, а также включения в различные базы данных и информационные системы.

2.1.6. право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему договору права третьим лицам без выплаты Лицензиару вознаграждения.

2.2. Лицензиар передает права Лицензиату по настоящему Договору на основе неисключительной лицензии.

2.3. Лицензиар, в течение трех рабочих дней обязан предоставить Лицензиату Произведение в электронной версии в формате инструкции по подготовке статей для научного журнала «Морские интеллектуальные технологии» для ознакомления. В течение 30 (тридцать) рабочих дней, если Лицензиатом не предъявлены к Лицензиару требования или претензии, связанные с качеством (содержанием) или объемом предоставленному для ознакомления Произведению, Стороны подписывают Акт приема-передачи Произведения.

2.4. Дата подписания Акта приема-передачи Произведения является моментом передачи Лицензиату прав, указанных в настоящем Договоре.

2.5. Лицензиат обязуется соблюдать предусмотренные действующим законодательством авторские права, права Лицензиара, а также осуществлять их защиту и принимать все возможные меры для предупреждения нарушения авторских прав третьими лицами.

2.6. Территория, на которой допускается использование прав на Произведения, не ограничена.

2.7. Лицензиар также предоставляет Лицензиату право хранения и обработки следующих своих персональных данных без ограничения по сроку:

- фамилия, имя, отчество;
- дата рождения;
- сведения об образовании;
- сведения о месте работы и занимаемой должности;

- сведения о наличии опубликованных произведений литературы, науки и искусства.

Персональные данные предоставляются для их хранения и обработки в различных базах данных и информационных системах, включения их в аналитические и статистические отчетности, создания обоснованных взаимосвязей объектов произведений науки, литературы и искусства с персональными данными и т.п.

Лицензиат имеет право передать указанные данные для обработки и хранения третьим лицам при условии уведомления о таком факте с предоставлением сведений о третьем лице (наименование и адрес) Лицензиару.

Отзыв согласия на хранение и обработку персональных данных производится Лицензиаром путем направления соответствующего письменного уведомления Лицензиату.

3. Ответственность Сторон

3.1. Лицензиар и Лицензиат несут в соответствии с действующим законодательством РФ имущественную и иную юридическую ответственность за неисполнение или ненадлежащее исполнение своих обязательств по настоящему Договору.

3.2. Сторона, ненадлежащим образом исполнившая или не исполнившая свои обязанности по настоящему Договору, обязана возместить убытки, причиненные другой Стороне, включая упущенную выгоду.

4. Конфиденциальность

4.1. Условия настоящего Договора и дополнительных соглашений к нему - конфиденциальны и не подлежат разглашению.

5. Заключительные положения

5.1. Все споры и разногласия Сторон, вытекающие из условий настоящего Договора, подлежат урегулированию путем переговоров, а в случае их безрезультатности, указанные споры подлежат разрешению в суде в соответствии с действующим законодательством РФ.

5.2. Настоящий Договор вступает в силу с момента подписания обеими Сторонами настоящего Договора и Акта приема-передачи Произведения.

5.3. Настоящий Договор действует до полного выполнения Сторонами своих обязательств по нему.

5.4. Расторжение настоящего Договора возможно в любое время по обоюдному согласию Сторон, с обязательным подписанием Сторонами соответствующего соглашения об этом.

5.5. Расторжение настоящего Договора в одностороннем порядке возможно в случаях, предусмотренных действующим законодательством, либо по решению суда.

5.6. Любые изменения и дополнения к настоящему Договору вступают в силу только в том случае, если они составлены в письменной форме и подписаны обеими Сторонами настоящего Договора.

5.7. Во всем, что не предусмотрено настоящим Договором, Стороны руководствуются нормами действующего законодательства РФ.

5.8. Настоящий Договор составлен в двух экземплярах, имеющих одинаковое содержание и равную юридическую силу, по одному для каждой из Сторон.

6. Реквизиты Сторон.

Лицензиар:

ФИО, дата рождения, паспорт, адрес
регистрации

Лицензиат:

ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»
Адрес: 190121, г. Санкт-Петербург,
ул. Лоцманская д. 3
ИНН 7813074883, КПП 783901001
р/с 40702810255080004491
Северо-западный банк ОАО
"Сбербанк России" г. Санкт-Петербург
БИК 044030653
к/с 30101810500000000653

Лицензиар:

Лицензиат

Заместитель Генерального директора
ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»

_____/Никитин Н.В./

АКТ
к лицензионному договору № _____

г. Санкт-Петербург «__» _____ 20__ года

Общество с ограниченной ответственностью «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» (ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»), именуемое в дальнейшем "Лицензиат", в лице заместителя генерального директора-главного редактора научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» Никитин Николая Васильевича, действующего на основании Доверенности № 1-59, удостоверенной нотариусом Санкт-Петербурга Володиным А.В. 21.01.2014г, с одной стороны, и Гражданин РФ _____

_____, именуемый в дальнейшем "Лицензиар", с другой стороны, именуемые в дальнейшем "Сторона/Стороны", составили настоящий акт (далее – «Акт») к лицензионному договору №____ от «__» _____ года (далее - "Договор") о нижеследующем.

1. Лицензиар передал, а Лицензиат принял в соответствии с условиями Договора 1 (один) экземпляр Произведения - _____ (наименование и характеристика) - и право его использования.

2. Стороны взаимных претензий по порядку и объему исполнения обязательств по Договору не имеют.

3. Настоящий Акт составлен в двух экземплярах, имеющих равную юридическую силу, по одному для каждой из Сторон.

Реквизиты Сторон.

Лицензиар:

ФИО, дата рождения, паспорт, адрес регистрации

Лицензиат:

ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»
Адрес: 190121, г. Санкт-Петербург,
ул. Лоцманская д. 3
ИНН 7813074883, КПП 783901001
р/с 40702810255080004491
Северо-западный банк ОАО
"Сбербанк России" г. Санкт-Петербург
БИК 044030653
к/с 30101810500000000653

Лицензиар:

Лицензиат
Заместитель Генерального директора
ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»

_____/Никитин Н.В./

Есть на складе издательства**Гайкович А. И.****Основы теории проектирования сложных технических систем****СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2001, 432 стр.**

Монография посвящена проблеме проектирования больших разнокомпонентных технических систем. Изложение ведется с позиций системного анализа и достижений прикладной математики и информатики.

Есть в продаже: **цена 420 руб. + пересылка**

Коршунов Ю. Л.**Люди, корабли, оружие (К 70-летию 1-го ЦНИИ МО РФ)****СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2002, 176 стр.**

Книга содержит историю научно-исследовательских институтов кораблестроения и морского оружия. Автор приводит большое количество фактов, характеризующих деятельность институтов на различных этапах развития флота.

Есть в продаже: **цена 280 руб. + пересылка**

Архипов А. В., Рыбников Н. И.**Десантные корабли, катера и другие высадочные средства морских десантов****СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2002, 280 стр.**

Изложен опыт проведения морских десантных операций, их особенности, характерные черты и тенденции развития этого вида боевых действий. Рассмотрены наиболее существенные аспекты развития десантных кораблей, катеров и других высадочных средств морских десантов. Затронуты некоторые особенности проектирования десантных кораблей и возможные пути совершенствования расчетных методов.

Есть в продаже: **цена 320 руб. + пересылка**

Караев Р. Н., Разуваев В. Н., Фрумен А. И.**Техника и технология подводного обслуживания морских нефтегазовых сооружений.****Учебник для вузов****СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2012, 352 стр.**

В книге исследуется роль подводно-технического обслуживания в освоении морских нефтегазовых месторождений. Приводится классификация подводного инженерно-технического обслуживания морских нефтепромыслов по видам работ.

Изложены основные принципы формирования комплексной системы подводно-технического обслуживания морских нефтепромыслов, включающей использование водолазной техники, глубоководных водолазных комплексов и подводных аппаратов.

Есть в продаже: **цена 1500 руб. + пересылка**

Шауб П. А.**Качка поврежденного корабля в условиях морского волнения****СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2013, 144 стр.**

Монография посвящена исследованию параметров бортовой качки поврежденного корабля, судна с частично затопленными отсеками в условиях морского волнения. Выведена система дифференциальных уравнений качки поврежденного корабля с учетом нелинейности диаграммы статической остойчивости, начального угла крена, затопленных отсеков III категории.

Книга предназначена для специалистов в области теории корабля, а также может быть полезной для аспирантов, инженеров и проектировщиков, работающих в судостроительной области, занимающихся эксплуатацией корабля, судна.

Есть в продаже: **цена 350 руб. + пересылка**

Гидродинамика малопогруженных движителей: Сборник статей**СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2013, 224 стр.**

В сборнике излагаются результаты исследований гидродинамических характеристик частично погруженных гребных винтов и экспериментальные данные, полученные в кавитационном бассейне ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова в 1967–2004 г. 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**