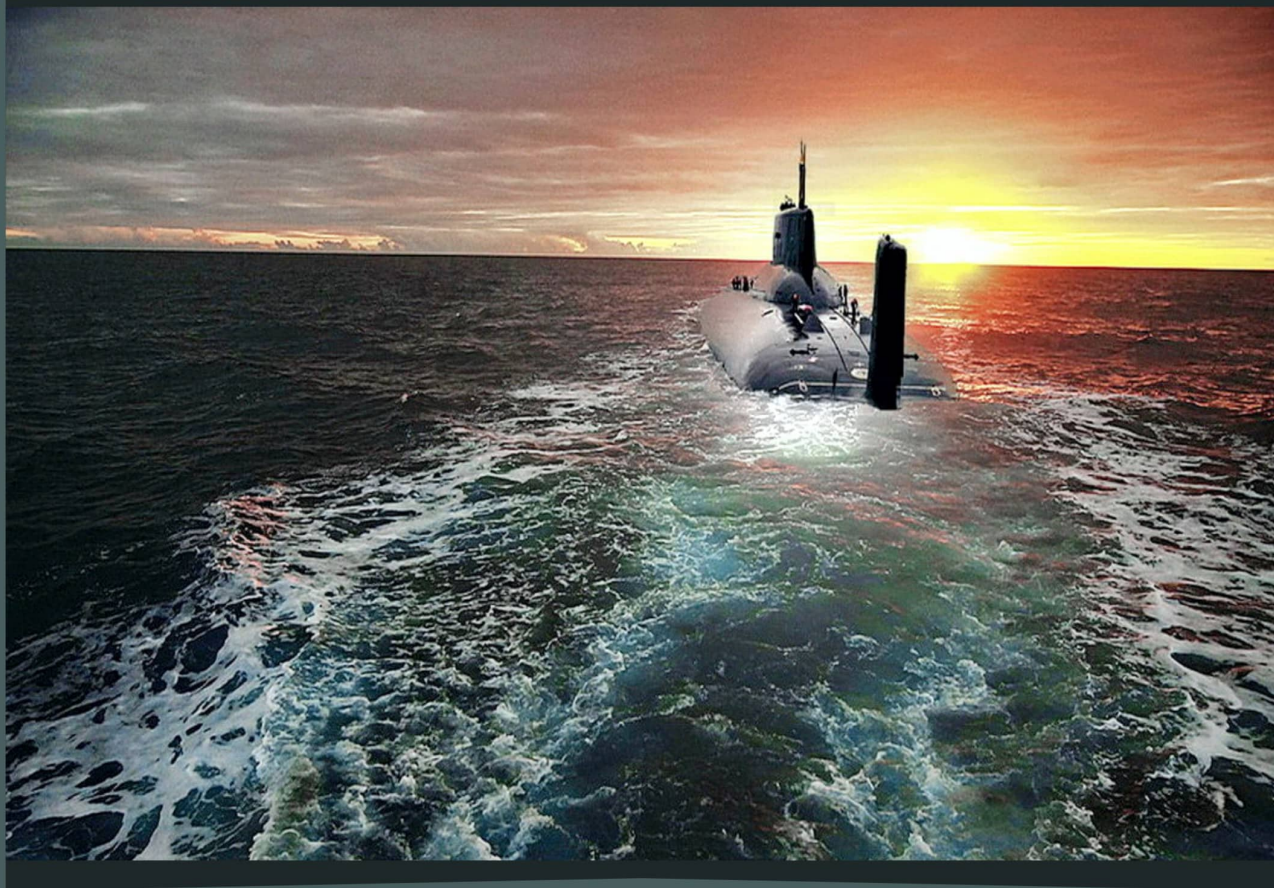


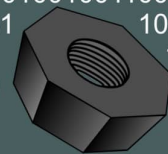
МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

10011010011011111001100100011000101001110100100011000110101011110100001001001010010011
01000110110000011011011000101001001110100111001101001110100110101000011101100111001010
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110
1101011000010101110100101001101101011000101101011010010100111010101011010101101001101001
1001101001101111100110010001100010100111010010001100110101011110100001001001010010011
01000110110000011011011000101001001110100111001101001110100110101000011101100111001010
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110
1101011000010101110100101001101101010110001011010001100001010011101010001101001101001

№ 1 (35) Т. 1 2017



01000110110000011011011000101001001110100111001101001110100110101000011101100111001010
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110
110101100001010111101001010011011010101100010110101011010010100111010101 101001
10011010011011111001100100011000101001110100101011000110101011110101101 1010
010001101100000110110110001010010011101001110011101001110100110101000010 011





МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал № 1 (35) Т.1 2017 www.morintex.ru, ISSN № 2073-7173,

Тематика: кораблестроение, информатика, вычислительная техника и управление

Главный редактор:

Н.В. Никитин, д.т.н., профессор

Редакционный Совет

Сопредседатели

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

Г.А. Туричин, д.т.н., Ректор, СПбГМТУ

Члены Совета

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

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

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

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

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

Пентти Куяла, профессор, университет Аалто, Финляндия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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>

Журнал включен в Перечень ВАК ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук и в международную реферативную базу данных Web of Science

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

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

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

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

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

Телефон/факс +7 (812) 513-04-51

e-mail: mit-journal@mail.ru

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

Перепечатка допускается только с разрешения редакции

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

Редакционная этика журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

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

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

Напечатано в центре полиграфии НИЦ «МОРИНТЕХ»

Дизайн: А.В. Антонов



MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES

Scientific journal № 1 (35) V. 1 2017 www.morintex.ru ISSN 2073-7173,

Subject: shipbuilding, computer science, computer engineering and management

Chief Editor:

N. V. Nikitin, Doctor of Engineering, Professor

Editorial Board

Co-chairmen

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

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

Council Members

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

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

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

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

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

Pentti Kujala, Professor, Aalto University, Finland

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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>

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

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

Founder-Publisher: Research Centre "Marine Intelligent Technologies"

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

Address: Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg

120121, Russian Federation

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

e-mail: mit-journal@mail.ru

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

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

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

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

Editorial ethics of the scientific journal «MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES»

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

<http://morintex.ru/en/nauchnyj-zhurnal/redakcionnaya-etika/>
Design: A.V. Antonov



51 центральный конструкторско-технологический институт судоремонта

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

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

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

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

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

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



СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
О журнале	6
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	
Ермолаева Н. Н., Курбатова Г. И. Параметрическая идентификация модели установившегося неизотермического течения газа по морскому газопроводу	8
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ	
Тарануха Н. А., Гневашева Н. Б., Журбина И. Н., Го Цзюнь Влияние малой осесимметричной разнотолщинности на радиальные колебания коротких круговых цилиндрических оболочек	14
УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ	
Каминский В. Ю., Лукомский Ю. Ю. А., Скороходов Д. А. Принятие решений при борьбе с авариями на газонефтедобывающих платформах	22
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ	
Кондратенко А. А. Планирование работы флота на континентальном шельфе	29
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)	
Лакиза М. В. Интенсификация теплообмена в трубном пространстве гофрированными ленточными вставками с надрезами	39
ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	
Кулешов И. И., Ходаковский В. М. Исследование влияния тепловых и механических нагрузок на деформацию головок поршней судовых малооборотных дизелей	43
ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ КОРАБЛЯ, ОКЕАНА, АТМОСФЕРЫ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ	
Легуша Ф. Ф., Олейник М. М., Ткаченко И. В., Чижов Г. В. Иляков В. А. Диссипация акустической энергии на поверхности жидкого полупространства	54
Ильменков С.Л. Строгое решение задачи дифракции звука на системе упругих и вязко-упругих цилиндрических слоев	60
Ильменков С.Л. Влияние внутренней жидкой среды на фазовые скорости трехмерных изгибных волн в цилиндрической оболочке	67
УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	
Скороходов Д. А. Д. А. Маринов М. Л., Комашинский В. И. Метод диагностики профессиональной деятельности персонала транспортных систем с учетом ее аксиометрических характеристик	73
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ В ЖУРНАЛ	81
Книги на складе издательства	98
ИНФОРМИЦИЯ О КОНФЕРЕНЦИИ МКМ 2017 (до 2015г. ВЕМ-FEM) 25.09 – 27.09 2017, Санкт-Петербург, Россия	99

CONTENTS

	стр.
About journal	6
FOUNDATIONS OF INFORMATION SCIENCE. MATHEMATICAL MODELLING	
Ermolaeva N. N., Kurbatova G.I. <i>Parametric identification of a model of steady non-isothermal gas flow through sea gas-pipeline</i>	8
NUMERICAL PROCEDURES AND SOFTWARE SYSTEMS	
Taranukha N. A., Gnevasheva N. B., Zhurbina I. N. Guo Jun The effect of small axisymmetric thickness al shells	14
CONTROL AND PROCESSING OF INFORMATION	
Kaminsky V. Yu., Lukomsky Yu. A., Skorokhodov D. A <i>Actions in the fight accidental a t gas oil platform</i>	22
SHIP DESIGNING AND STRUCTURE	
Kondratenko A. A. Planning of offshore fleet operation	29
SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)	
Lakiza M. V. Heat transfer enhansment in tube side by corrugated twisted tape with cuts	39
SHIP REPAIR AND ORGANIZATION OF SHIPBUILDING PRODUCTION	
Kuleshov I. I., Khodakovsky V. M. <i>Nnvestigation of thermal and mechanical capacity on pictions crowns of low speed propasion marine diesel engine</i>	43
PHYSICAL FIELDS OF SHIP, OCEAN, ATMOSPHERE AND THEIR INTERACTION	
Legusha F. F., Oleinick M. M., Tkachenko I., V., Chizhov G. V., Ilyakov V. A. Dissipation of acoustic energy on the surface liquid half spacel	54
Ilmenkov S. L. Rigorous solution of the problem of diffraction of sound on the system elastic and viscous elastic cylindrical layers	60
Ilmenkov S. L. The influence of interval fluid for phase velo ciyies of three dimension wavesin a cylindrical shell	67
CONTROL IN SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS	
Skorokhodov D.A., M. M. Lubenov., Komashinskij V. I. Method of diagnosis of the professional activities of staff transport systems, taking into accountits axiological characteristics	73
RULES OF EXECUTION OF ARTICLES IN THE MAGAZINE	81
Книги на складе издательства	98
INFORMITON ABOUT THE CONFERENCE MKM 2017 (till 2015 BEM-FEM) 25.09. – 27.09.) 2017, St. Petersburg, Russia	99

О ЖУРНАЛЕ

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

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

Наш журнал включен в международную реферативную базу данных Web of Science

В журнале обязательно рецензирование статей ведущими специалистами по профилю статьи.

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

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

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

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

Тематика

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

Основные направления

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

ABOUT JOURNAL

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

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

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

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

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

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

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 519.6+512.972

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ УСТАНОВИВШЕГОСЯ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ ГАЗА ПО МОРСКОМУ ГАЗОПРОВОДУ

Ермолаева Надежда Николаевна

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры моделирования электромеханических и компьютерных систем
Санкт-Петербургский государственный университет
198504, Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский пр, 35
e-mail: n.ermolaeva@spbu.ru

Курбатова Галина Ибрагимовна

Доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры моделирования электромеханических и компьютерных систем
Санкт-Петербургский государственный университет
198504, Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский пр, 35
e-mail: g.kurbatova@spbu.ru

Аннотация

Задачам идентификации параметров модели посвящены многочисленные исследования. В настоящей работе для идентификации параметров модели установившегося неизотермического течения газа по морским газопроводам при высоких давлениях используется метод квазилинеаризации нелинейных краевых задач Р. Беллмана. Предложена математическая модель установившегося неизотермического течения газа по морским газопроводам при высоких давлениях. Приведен алгоритм итерационного метода определения по экспериментальным данным на выходе из газопровода коэффициента гидравлического сопротивления λ и суммарного коэффициента теплообмена газа с внешней средой β . Рассмотрен пример решения тестовой задачи параметрической идентификации исследуемой модели. Пример иллюстрирует сходимость предложенного итерационного метода и возможность с требуемой точностью расчета параметров λ и β по экспериментальным данным. Исследовано влияние точности задания экспериментальных данных на расчет параметров λ и β .

Ключевые слова: идентификация параметров модели, морские газопроводы, метод квазилинеаризации, определение коэффициента гидравлического сопротивления и коэффициента теплообмена с внешней средой по экспериментальным данным, нелинейные краевые задачи.

PARAMETRIC IDENTIFICATION OF A MODEL OF STEADY NON-ISOTHERMAL GAS FLOW THROUGH SEA GAS-PIPELINE

Ermolaeva Nadezda Nikolaevna

Cand. Sc. Phys.-Math.,
the associate professor of department
of electromechanical and computer systems modeling
Saint Petersburg State University
Universitetskii pr. 35, Petergof, St. Petersburg 198504, Russian Federation
e-mail: n.ermolaeva@spbu.ru

Kurbatova Galina Ibragimovna

the professor, Dr.Sci. Phys.-Math.,
the professor of department of electromechanical
and computer systems modeling
Saint Petersburg State University
Universitetskii pr. 35, Petergof, St. Petersburg 198504, Russian Federation
e-mail: g.kurbatova@spbu.ru

Abstract

Much has been written on the parametric identification problem. In present work, the Bellman quasi-linearization method for the nonlinear boundary value problems is used to identify parameters of a model of steady non-isothermal real gas flow in a sea hyper-pressure gas-pipeline. The mathematical model of steady non-isothermal real gas flow in a sea hyper-pressure gas-pipeline and the iteration algorithm for determination of the coefficient of hydraulic resistance λ and of the total heat exchange coefficient of gas with environment β are presented using experimental data at the gas-pipeline end. The solution example of the parametric identification test problem of the studied model is given. This example illustrates the convergence of the iterative process and one shows opportunity to the determination of these parameters λ and β to high precision using experimental data. Influence of the experiment data accuracy on the calculation of parameters λ and β is considered.

Key words: identification of the model parameters, sea gas-pipeline, quasilinearization method, determination of the coefficient of hydraulic resistance and of total heat exchange coefficient of gas with environment, nonlinear boundary value problems.

Введение

Адекватность математической модели определяется как самой моделью, так и точностью расчетов. Модель установившегося неизотермического течения газа по морским газопроводам содержит такие трудно измеримые параметры, как коэффициент гидравлического сопротивления λ и суммарный коэффициент теплообмена газа с внешней средой β . На величины этих параметров влияют внешние условия, конструкция газопровода и режим течения газа. Решение задачи идентификации параметров модели позволяет адаптировать ее к реальному газопроводу, поэтому их расчет в режиме реального времени является актуальной задачей. Большой вклад в исследование решения задач идентификации параметров модели внесли работы А.Н. Тихонова [1,2], Л. Льюнинга [3], И. Вальтера и Л. Пронзато [4], Ю. Е. Аниконова [5], Р. Беллмана [6] и др.

В настоящей работе приведено решение задачи параметрической идентификации модели установившегося течения газа методом квазилинеаризации Р. Беллмана [6]. Аналогичный подход использовался, например, в работах [7]–[10].

1. Постановка задачи

Модель установившегося неизотермического течения газа по морскому газопроводу записывается следующим образом [11]:

$$\rho u = Q / (\pi R^2), \tag{1}$$

$$\rho u \frac{du}{dz} = -\frac{dp}{dz} - \frac{\lambda \rho u^2}{4R} + \rho g \cos \alpha_z, \tag{2}$$

$$\frac{dT}{dz} = -\frac{p}{c_v \rho u} \frac{du}{dz} - \frac{3c_p \rho}{(2c_v u (1 + \delta \rho) T^{1/2})} \frac{du}{dz} + \frac{2\beta(T^* - T)}{c_v \rho u} + \frac{\lambda u^2}{4R c_v}, \tag{3}$$

$$\rho = \frac{h \rho T}{1 - \delta \rho} - \frac{c \rho^2}{(1 + \delta \rho) T^{1/2}}, \tag{4}$$

$$z = 0: \rho = \rho_{z0}, \quad T = T_{z0}. \tag{5}$$

Здесь (1) — интеграл уравнения неразрывности, (2) — уравнение движения, (3) — тепловое уравнение, (4) — уравнение состояния Редлиха-Квонга, (5) — граничные условия на входе в газопровод; u, ρ, p, T, c_v — скорость, плотность, давление, температура и коэффициент удельной теплоемкости при постоянном объеме газовой смеси соответственно; T^* — температура окружающей среды; R — внутренний радиус газопровода; Q — массовый расход; g — ускорение силы тяжести, α_z — угол между осью газопровода z и направлением силы тяжести; h, c, δ — постоянные в уравнении Редлиха-Квонга (4), зависящие от состава газовой смеси; λ — коэффициент гидравлического сопротивления; β — суммарный коэффициент теплообмена газа с окружающей средой.

Предполагается, что искомые параметры модели — коэффициенты λ и β — на всем протяжении газопровода $z \in [0, L]$ являются постоянными. Система (1)–(5), разрешенная относительно производных $\frac{d\rho}{dz}, \frac{dT}{dz}$, в безразмерной форме имеет вид (для безразмерных величин использованы прежние обозначения):

$$\frac{d\rho}{dz} = \frac{f_2 + f_1 f_3 f_T}{1 - f_1 f_\rho - f_1 f_4 f_T - f_1 f_5 f_T} = F_1(\rho, T, \lambda, \delta), \tag{6}$$

$$\frac{dT}{dz} = f_3 + \frac{(f_4 + f_5)(f_2 + f_1 f_3 f_T)}{1 - f_1 f_\rho - f_1 f_4 f_T - f_1 f_5 f_T} = F_2(\rho, T, \lambda, \beta), \tag{7}$$

$$\frac{d\lambda}{dz} = 0, \quad \frac{d\beta}{dz} = 0, \tag{8}$$

$$\rho = f_\rho, \quad u = 1/f_\rho, \tag{9}$$

$$z = 0: \rho(0) = \rho_{z0}, \quad T(0) = T_{z0}. \tag{10}$$

Плотность ρ_L и температура T_L на выходе из газопровода считаются известными из экспе-

римента, это позволяет записать дополнительное условие:

$$z=L: \rho(L)=\rho_L, \quad T(L)=T_L. \quad (11)$$

Функции $f_\rho, f_T, f_p, f_1-f_5$ явно выражаются через искомые параметры λ и β , через искомые функции ρ, T , через известные параметры модели $R, c, h, \delta, c_v, Q, \alpha_z$ и характерные величины $\rho_x, \rho_x, u_x, L_x, T_x$.

2. Алгоритм идентификации параметров λ и β модели (1)–(5)

Представим систему уравнений (6)–(8) в векторной форме:

$$\frac{d\bar{y}}{dz} = \bar{F}(\bar{y}). \quad (12)$$

Вектор $\bar{y}(z)$ имеет компоненты: $y_1 = \rho(z), y_2 = T(z), y_3 = \lambda, y_4 = \beta$, вектор \bar{F} — компоненты: $F_i(y_1, \dots, y_4), i = 1, \dots, 4$; функции F_1, F_2 заданы правыми частями уравнений (6), (7), функции F_3, F_4 являются нулевыми.

Решение нелинейного уравнения (12) методом квазилинеаризации сводится к решению последовательности линейных задач. Линейное уравнение относительно вектора \bar{y}^{s+1} в $(s+1)$ -й итерации имеет вид:

$$\frac{d\bar{y}^{s+1}}{dz} = \bar{F}(\bar{y}^s) + J|_{\bar{y}^s} (\bar{y}^{s+1} - \bar{y}^s). \quad (13)$$

Вектор \bar{y}^s известен из решения соответствующего линейного уравнения в s -й итерации, $J|_{\bar{y}^s}$ — матрица Якоби, вычисленная на векторе $\bar{y}^s(z)$. Краевое условие (10) и дополнительное условие (11) записываются в виде:

$$y_i^{s+1}|_{z=0} = y_{0i}, \quad i = 1, 2, \quad (14.1)$$

$$y_i^{s+1}|_{z=L} = y_{Li}, \quad i = 1, 2. \quad (14.2)$$

Функция \bar{F} зависит от искомых параметров λ и β линейно. Предлагается искать функции $y_1^{s+1}(z) \equiv \rho^{s+1}(z)$ и $y_2^{s+1}(z) \equiv T^{s+1}(z)$ в виде линейных зависимостей от $y_3^{s+1}(z) \equiv \lambda^{s+1}$ и $y_4^{s+1}(z) \equiv \beta^{s+1}$:

$$\bar{y}_i^{s+1} = a_i(z)\lambda^{s+1} + b_i(z)\beta^{s+1} + e_i(z), \quad i = 1, 2. \quad (15)$$

Функции $a_i(z), b_i(z), e_i(z)$ подлежат определению. Аналогичный подход использован,

например, в работе [10]. В матричной форме линейное представление (15) записывается

$$\bar{y}^{s+1} = C^s \bar{y}^{s+1} + \bar{g}^s. \quad (16)$$

Квадратная матрица 4-го порядка C^s имеет вид:

$$C^s = \begin{pmatrix} 0 & 0 & c_{13}^s(z) & c_{14}^s(z) \\ 0 & 0 & c_{23}^s(z) & c_{24}^s(z) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (17)$$

\bar{g}^s — вектор с компонентами $g_i^s(z), i = 1, \dots, 4$.

Компоненты матрицы C^s и вектора \bar{g}^s выражаются через коэффициенты в линейном разложении \bar{y}_i^{s+1} (15):

$$c_{i3}^s(z) = a_i(z), \quad c_{i4}^s(z) = b_i(z), \quad g_i^s = e_i(z), \quad i = 1, 2; \quad (18)$$

$$g_3^s = g_4^s(z) = 0.$$

С учетом представления вектора \bar{y}^{s+1} (16) левая часть уравнения (13) преобразуется следующим образом:

$$\frac{dC^s}{dz} \bar{y}^{s+1} + C^s \frac{d\bar{y}^{s+1}}{dz} + \frac{d\bar{g}^s}{dz}. \quad (19)$$

Из вида матрицы C^s (17) и равенств: $F_3 = F_4 = 0$ следует, что слагаемое $C^s \frac{d\bar{y}^{s+1}}{dz}$ равно нулевому вектору. Правая часть уравнения (13) для вектора \bar{y}^{s+1} (16) принимает вид:

$$\bar{F}(\bar{y}^s) + J|_{\bar{y}^s} (C^s \bar{y}^{s+1} + \bar{g}^s) - J|_{\bar{y}^s} \bar{y}^s. \quad (20)$$

Уравнение (13) с учетом выражений (19), (20) записывается в виде:

$$\frac{dC^s}{dz} \bar{y}^{s+1} + \frac{d\bar{g}^s}{dz} = \bar{F}(\bar{y}^s) + J|_{\bar{y}^s} C^s \bar{y}^{s+1} + J|_{\bar{y}^s} \bar{g}^s - J|_{\bar{y}^s} \bar{y}^s. \quad (21)$$

Уравнение (21) решается методом неопределенных коэффициентов, который приводит к следующей системе уравнений:

$$\frac{dC^s}{dz} = J|_{\bar{y}^s} C^s, \quad (22)$$

$$\frac{d\bar{g}^s}{dz} = \bar{F}(\bar{y}^s) + J|_{\bar{y}^s} \bar{g}^s - J|_{\bar{y}^s} \bar{y}^s. \quad (23)$$

Система (22), (23) сводится к системе шести обыкновенных дифференциальных уравнений относительно неизвестных коэффициентов $c_{ij}^s(z)$ и $g_j^s(z)$ для $z \in [0, L]$. Из граничных условий (14.1) и из линейного представления (16) следуют условия для искомых компонент матрицы C^s и вектора \bar{g}^s при $z = 0$:

$$c_{1,3}^s(z) = c_{1,4}^s(z) = c_{2,3}^s(z) = c_{2,4}^s(z) = 0, \\ g_1^s = y_{01} \equiv \rho(0), \quad g_2^s = y_{02} \equiv T(0). \quad (24)$$

В результате решения этой системы шести обыкновенных дифференциальных уравнений при граничных условиях (24) находятся все искомые функции и тем самым матрица C^s и вектор \bar{g}^s для $z \in [0, L]$. Правые части уравнений (22), (23) имеют громоздкий вид. Несмотря на это, решение системы (22), (23) с граничными условиями (24) не вызывает принципиальных трудностей, оно может быть получено численно, например, методом Рунге-Кутты. Решение существует и единственно, если существует и единственно решение системы (6)–(9) с граничными условиями (10).

Дополнительное условие (14.2) совместно с линейным представлением (16), записанным при $z = L$, приводят к системе линейных алгебраических уравнений относительно искомых параметров λ^{s+1} и β^{s+1} в $(s+1)$ -й итерации:

$$\rho_L \equiv y_1^{s+1}(L) = c_{13}^s(L)\lambda^{s+1} + c_{14}^s(L)\beta^{s+1} + g_1^s(L), \\ T_L \equiv y_2^{s+1}(L) = c_{23}^s(L)\lambda^{s+1} + c_{24}^s(L)\beta^{s+1} + g_2^s(L).$$

Решение этой системы имеет вид:

$$\lambda^{s+1} = \frac{c_{24}^s(L)(\rho_L - g_1^s(L)) - c_{14}^s(L)(T_L - g_2^s(L))}{c_{13}^s(L)c_{24}^s(L) - c_{14}^s(L)c_{23}^s(L)}, \\ \beta^{s+1} = \frac{c_{13}^s(L)(T_L - c_{24}^s(L)) - c_{23}^s(L)(\rho_L - c_{14}^s(L))}{c_{13}^s(L)c_{24}^s(L) - c_{14}^s(L)c_{23}^s(L)}.$$

Распределения плотности $\rho^{s+1}(z)$ и температуры $T^{s+1}(z)$ в $(s+1)$ -й итерации выражаются через найденные параметры λ^{s+1} , β^{s+1} , матрицу C^s и вектор \bar{g}^s :

$$\rho^{s+1}(z) \equiv y_1^{s+1}(z) = c_{13}^s(z)\lambda^{s+1} + c_{14}^s(z)\beta^{s+1} + g_1^s(z), \\ T^{s+1}(z) \equiv y_2^{s+1}(z) = c_{23}^s(z)\lambda^{s+1} + c_{24}^s(z)\beta^{s+1} + g_2^s(z).$$

Итерационный процесс решения нелинейного уравнения (12) считается завершенным при выполнении условия:

$$\max(\varepsilon_1, \varepsilon_2) < \varepsilon, \quad (25) \\ \varepsilon_1 = \left| \frac{\lambda^{s+1} - \lambda^s}{\lambda^s} \right|, \quad \varepsilon_2 = \left| \frac{\beta^{s+1} - \beta^s}{\beta^s} \right|,$$

ε — заданная малая безразмерная величина. Если условие (25) не выполнено, вектору \bar{y}^s присваивается найденный вектор \bar{y}^{s+1} и расчет вектора \bar{y} в следующей итерации повторяется по приведенному выше алгоритму.

В качестве нулевого приближения \bar{y}^0 задаются распределения плотности и температуры газа в некотором известном режиме транспортировки при тех же условиях.

3. Результаты

Предложенный алгоритм идентификации параметров λ и β в модели установившегося неизоэнтального течения газа по морским газопроводам реализован в виде программы на языке C++. Программа позволяет рассчитать эти коэффициенты по известным экспериментальным данным T_L и ρ_L на выходе из газопровода. Исследование расчетов по созданной программе позволяет сформулировать требования к точности задания значений T_L и ρ_L . В качестве примера приведен расчет λ и β для тестового варианта задачи:

$$L = 300 \text{ (км)}, \quad Q = 400 \text{ (кг/с)}, \quad \rho_{z0} = 149.665 \text{ (кг/м}^3\text{)}, \\ T_{z0} = 313.15 \text{ (К)}, \quad T^* = 278.15 \text{ (К)}, \quad R = 0.50 \text{ (м)}, \\ c = 12297.580 \text{ (м}^5\text{К/(кг с}^2\text{))}, \quad \delta = 0.001833 \text{ (м}^3\text{/кг)}, \\ h = 502.90 \text{ (м}^2\text{/(с}^2\text{К))}, \quad c_v = 2000.0 \text{ (Дж/(кг К))}, \quad (26)$$

трасса прокладки газопровода считается горизонтальной.

Здесь в качестве начального приближения использовались данные, предложенные в работе [10], адаптированные для модели (1)–(5), значения \tilde{T}_L и $\tilde{\rho}_L$ рассчитывались по модели (1)–(5) при $\lambda^* = 0.00829$ и $\beta^* = 6.18 \text{ (Вт/(м}^2\text{К))}$, значения \tilde{T}_L и $\tilde{\rho}_L$ принимались за точные. Для тестового варианта точность $\tilde{\varepsilon}$ расчета относительного отклонения рассчитанных значений λ и β от их точных значений λ^* и β^* составила: $\tilde{\varepsilon} = 10^{-4}$.

В таблице приведены значения модуля относительных отклонений $\delta\lambda = (\lambda/\lambda^* - 1)$ и $\delta\beta = (\beta/\beta^* - 1)$, рассчитанные в 0, I, ..., VIII итерациях для указанного варианта. Было проведено численное исследование сходимости предложенного итерационного метода, исследование влияния изменения точности задания T_L и ρ_L , влияния вариации граничных условий на входе в газопровод. Рамки статьи не позволяют остановиться на результатах этих исследований. Приведем лишь некоторые выводы.

Для варианта параметров (26) большое влияние на точность расчета λ и β оказывает точность задания T_L . При $|\tilde{T}_L - T_L| = 0.01$ градусов точность $\varepsilon^* = \max(|\delta\lambda|, |\delta\beta|)$ уменьшается на по-

рядок по сравнению с $\tilde{\varepsilon} = 10^{-4}$ при сохранении скорости сходимости итерационного процесса. При $|\tilde{T}_L - T_L| = 0.1$ градуса точность ε^* в расчете λ и β уменьшается на два порядка по сравнению с $\tilde{\varepsilon} = 10^{-4}$, кроме того, уменьшается скорость сходимости (число итераций увеличивается до 9). При $|\tilde{T}_L - T_L| > 0.25$ градусов итерационный процесс не сходится.

Выводы

Предложенный метод идентификации параметров λ и β модели установившегося неизотермического течения газа по морским газопроводам позволяет по известным экспериментальным данным T_L и ρ_L на выходе из газопровода определить коэффициент гидравлического

сопротивления λ и суммарный коэффициент теплообмена потока газа с внешней средой β . Созданная программа, реализующая этот метод, позволяет численно исследовать сходимость итерационного процесса и рассчитать необходимую точность задания экспериментальных данных T_L и ρ_L на выходе из газопровода, которая зависит в том числе и от требуемой точности расчета параметров λ и β . Таким образом, предложенный метод идентификации параметров позволяет адаптировать указанную модель к реальным условиям. Если внешние условия нельзя считать неизменными вдоль газопровода, алгоритм расчета λ и β усложняется.

Таблица 1

итерация	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$ \delta\lambda , \%$	0.217	1.627	0.147	0.279	0.428	0.460	0.465	0.467	0.467
$ \delta\beta , \%$	2.979	1.204	0.333	0.058	0.042	0.028	0.026	0.026	0.026

Литература

1. Тихонов А.Н. Об обратной задаче для нелинейного дифференциального уравнения// Журнал ВМ и МФ. 1983. № 1. Т. 23. С. 95-101.
2. Тихонов А.Н. Об устойчивости обратных задач// ДАН СССР. 1943. Т. 5. № 39. С. 195-198.
3. Ljung L. System Identification: Theory for the User. 2nd ed. Prentice-Hall. Upper Saddle River, New Jersey, USA. 1999. 672 p.
4. E. Walter and L. Pronzato. Identification of Parametric Models from Experimental Data. Communications and Control Engineering. Springer-Verlag, London. 1997. XVIII. 413 p.
5. Аниконов Ю.Е. Некоторые методы исследования многомерных обратных задач для дифференциальных уравнений. Новосибирск: Наука, 1978. 118 с.
6. Bellman R.E., Kalaba R.E. Quasilinearization and Nonlinear Boundary-Value Problems. Elsevier, 1965. 218 p
7. Бабе Г.Д., Бондарев Э.А., Воеводин А.Ф., Каниболотский М.А. Идентификация моделей гидравлики. Новосибирск: Наука СО, 1980. 160 с.
8. Казак К.А., Чионов А.М., Коршунов С.А., Кулик В.С., Казак А.С. Идентификация неизмерводный транспорт [теория и практика]. 2012. № 2. С. 36-41.
9. Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С. Численный метод идентификации гидравлических параметров // В сб.: Методы МСС. Якутск. 1977. С. 30-40. 10. Васильев О.Ф., Бондарев Э.А., Воеводин А.Ф., Каниболотский М.А. Неизотермическое течение газа в трубах. Новосибирск: Наука СО, 1978. 128 с. 11. Курбатова Г.И., Попова Е.А., Филиппов Б.В. и др. Модели морских газопроводов. СПб.: С.-Петербург. гос. ун-т, 2005. 156 с.

References

1. Tihonov A.N. Ob obratnoj zadache dlja nelinejnogo differencial'nogo uravnenija. Zhurnal VM i MF. 1983. № 1. Т. 23, pp. 95-101.
2. Tikhonov A.N. Ob ustoychivosti obratnykh zadach. DAN SSSR. 1943. Т. 5. № 39, pp. 195-198.
3. Ljung L. System Identification: Theory for the User. 2nd ed. Prentice-Hall. Upper Saddle River, New Jersey, USA. 1999. 672 p.
4. E. Walter and L. Pronzato. Identification of Parametric Models from Experimental Data. Communications and Control Engineering. Springer-Verlag, London. 1997. XVIII. 413 p.

-
5. Anikonov Yu.E. Nekotorye metody issledovaniya mnogomernykh obratnykh zadach dlya differentsial'nykh uravneniy. Novosibirsk: Nauka, 1978. 118 p.
 6. Bellman R.E., Kalaba R.E. Quasilinearization and Nonlinear Boundary-Value Problems. Elsevier, 1965. 218 p.
 7. Babe G.D., Bondarev E.A., Voevodin A.F., Kanibolotskiy M.A. Identifikatsiya modeley gidravliki. Novosibirsk: Nauka SO, 1980. 160 p.
 8. Kazak K.A., Chionov A.M., Korshunov S.A., Kulik V.S., Kazak A.S. Identifikatsiya ne-izmeryaemykh parametrov gazoprovoda dlya modelirovaniya parametrov potoka gaza // Truboprovodnyy transport [teoriya i praktika]. 2012. № 2, pp. 36-41.
 9. Voevodin A.F., Nikiforovskaya B.C. Chislennyy metod identifikatsii gidravlicheskiykh parametrov. V sb.: Metody MSS. Yakutsk. 1977, pp. 30-40.
 10. Vasil'ev O.F., Bondarev E.A., Voevodin A.F., Kanibolotskiy M.A. Neizotermicheskoe techenie gaza v trubakh. Novosibirsk: Nauka SO, 1978. 128 p.
 11. Kurbatova G.I., Popova E.A., Filippov B.V. i dr. Modeli morskikh gazoprovodov. SPb.: S.-Peterb. gos. un-t, 2005. 156 p.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК 539.3:534.1

ВЛИЯНИЕ МАЛОЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ РАЗНОТОЛЩИННОСТИ НА РАДИАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ КОРОТКИХ КРУГОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

Тарануха Николай Алексеевич

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

Гневашева Нина Борисовна

соискатель кафедры кораблестроения
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет
681013, Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина 27
тел.: (4217) 24-11-42; e-mail: prikhodykonina@mail.ru

Журбина Ирина Николаевна

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

Го Цзюнь

кандидат технических наук, доцент
Харбинский инженерный университет
Nan Tong, 145, St. Nan Gang District, Harbin 150001 People's Republic of China
e-mail: guo_jun@hrbeu.edu.cn

Аннотация

Исследуется влияние малой осесимметричной разнотолщинности на значения частот и формы преимущественно радиальных колебаний относительно коротких круговых цилиндрических оболочек при помощи теоретического анализа и численного расчета в программном комплексе ANSYS.

Рассматриваются два варианта конечномерных моделей: 1) считается, что малая разнотолщинность не оказывает влияния на формы собственных колебаний оболочки; 2) считается, что разнотолщинность приводит к взаимодействию формы колебаний идеальной оболочки и формы колебаний характера задаваемой разнотолщинности.

Теоретически и численно установлено, что разнотолщинность, в отличие от погиби, уменьшает, а не увеличивает значения частот радиальных колебаний относительно коротких оболочек. Показано, что пренебрежение в конечномерной модели малозаметными «быстрыми» колебаниями приводит к качественно неверному выводу о влиянии разнотолщинности на частоту радиальных колебаний коротких оболочек.

Ключевые слова: круговая цилиндрическая оболочка, осесимметричная разнотолщинность, частоты и формы радиальных колебаний, «быстрые» колебания.

THE EFFECT OF SMALL AXISYMMETRIC THICKNESS VARIATION ON RADIAL OSCILLATIONS OF SHORT CIRCULAR CYLINDRICAL SHELLS

Taranukha Nikolay Alekseevich

Dr.Sci.Tech., professor, head of the Shipbuilding of Department
Komsomolsk-na-Amure State Technical University
Lenina, 27, St. Komsomolsk-na-Amure 681013, Russian Federation
tel.: (4217) 24-11-42; e-mail: taranukha@knastu.ru

Gnevasheva Nina Borisovna

applicant of the Shipbuilding of Department
Komsomolsk-na-Amure State Technical University
Lenina, 27, St. Komsomolsk-na-Amure 681013, Russian Federation
tel.: (4217) 24-11-42; e-mail: prikodykonina@mail.ru

Zhurbina Irina Nikolaevna

Cand. Sci. Phys.-Math., associate professor of the Shipbuilding of Department
Komsomolsk-na-Amure State Technical University
Lenina, 27, St. Komsomolsk-na-Amure 681013, Russian Federation
tel.: (4217) 24-11-42; e-mail: zhurbina-irina@mail.ru

Guo Jun

PhD, associate professor of the Shipbuilding of Department
Harbin Engineering University,
Nan Tong, 145, St. Nan Gang District, Harbin 150001 People's Republic of China
e-mail: guo_jun@hrbeu.edu.cn

Abstract

Examines the effect of small axisymmetric thickness variation on frequencies and form mostly radial vibrations of relatively short circular cylindrical shells using theoretical analysis and numerical calculation using ANSYS software.

Two options are considered finite-dimensional models: 1) it is believed that a little different-casinos has no effect on the mode shapes of the shell; 2) it is believed that the thickness variation leads to the interaction of the vibration modes of the perfect shell and the shapes of the character specified thickness variation.

We numerically found that the thickness variation, in contrast to the deflection, reduces rather than increases the frequencies of radial vibrations of relatively short shells. It is shown that the neglect of finite-dimensional models stealth «fast» oscillations leads to a qualitatively wrong conclusion about the influence of thickness variation on the frequency of the radial vibrations of short shells.

Key words: circular cylindrical shell, axisymmetric thickness variation, frequency and form of radial oscillations, «fast» oscillations.

Введение

В работах [3, 9, 11, 12, 13, 16] авторами показано, что начальные несовершенства в виде малой осесимметричной погиби приводят к увеличению частоты преимущественно радиальных колебаний относительно коротких оболочек.

Следует отметить, что вопросам особенностей колебания цилиндрических оболочек с начальными неправильностями посвящено достаточно много работ. В частности, работы [5, 6, 10, 14, 15]. Однако эта проблема до сих пор остается актуальной.

В настоящей работе исследуется влияние малой осесимметричной разнотолщинности на собственные частоты преимущественно радиальных колебаний относительно коротких оболочек [4, 7].

1. Математическая модель

Рассматривается короткая круговая цилиндрическая оболочка с осесимметричной разнотолщиной (рис. 1), которая изменяется по следующему закону

$$h(x) = h + 2A_0 \sin\left(\frac{2m\pi x}{l}\right), \quad (1)$$

где h – толщина идеальной оболочки; $2A_0$ – наибольшее отклонение толщины несовершенной оболочки от ее номинального значения, равного h ($A_0 \ll 1$); m – число полуволн «усиления» и (или) «ослабления» ($m^2 \gg 1$); x – продольная координата; l – длина оболочки.

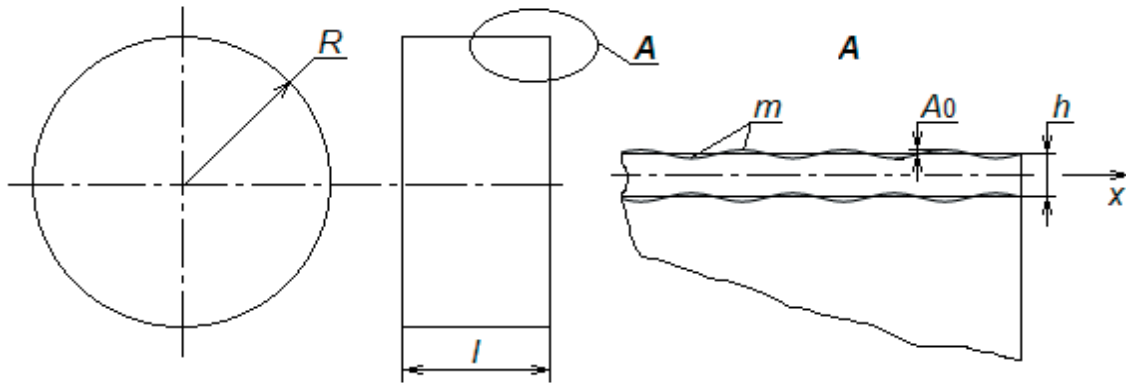


Рис. 1. Геометрические параметры короткой круговой цилиндрической оболочки с осесимметричной разнотолщинностью

Отметим, что массы разнотолщинной и идеальной оболочек равны.

Уравнение, описывающее радиальные колебания короткой оболочки, получим из системы уравнений, основывающейся на линейной теории оболочек [2] и описывающей продольно-радиальные колебания оболочки средней длины

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_1}{\partial x} &= \rho h(x) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial^2 M_1}{\partial x^2} + \frac{N_2}{R} &= \rho h(x) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \end{aligned} \quad (2)$$

где ρ – массовая плотность; $h(x)$ – толщина, переменная вдоль длины оболочки; u и w – продольное и радиальное перемещения точек срединной поверхности оболочки вдоль координатных линий x и z , соответственно; t – время; R – радиус.

Для этого будем полагать, что продольные колебания короткой оболочки пренебрежимо малы по сравнению с радиальными колебаниями, то есть $u(x,t) \ll w(x,t)$. Тогда из двух уравнений системы (2) останется одно

$$\frac{\partial^2 M_1}{\partial x^2} + \frac{N_2}{R} = \rho h(x) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \quad (3)$$

где N_2 – погонное окружное усилие; M_1 – погонный изгибающий момент, определяемые по формулам с учетом изменения толщины стенки оболочки вдоль оси x :

$$N_2 = -\frac{Eh(x)w}{1-\mu^2 R}; \quad M_1 = -D(x) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \quad (4)$$

где E – модуль Юнга; μ – коэффициент Пуассона; $D(x) = Eh(x)^3 / [12(1-\mu^2)]$ – цилиндрическая жесткость оболочки.

Подставим N_2 и M_1 из (4) в (3) и получим следующее уравнение:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[D(x) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right] + \frac{Eh(x)}{R^2(1-\mu^2)} w + \\ + \rho h(x) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Далее рассмотрим два варианта конечномерных моделей.

Вариант 1. Сначала предположим, что малая разнотолщинность не оказывает влияния на формы собственных колебаний оболочки, то есть для определения собственной частоты радиальных колебаний несовершенной оболочки примем следующее выражение:

$$w(x,t) = hC \sin(\pi x/l) \cos \lambda_m t, \quad (6)$$

где C – безразмерная амплитуда радиальных колебаний; λ_m – собственная частота разнотолщинной оболочки.

Вариант 2. Здесь будем считать, что разнотолщинность может привести к взаимодействию двух форм колебаний, первая из которых соответствует форме колебаний идеальной оболочки, а вторая соответствует характеру задаваемой разнотолщинности. Таким образом, уточним конечномерную модель (6) и аппроксимируем динамический прогиб выражением, учитывающим не только «медленные», но и малозаметные «быстрые» колебания [1]:

$$w(x,t) = h[C \sin(\pi x/l) + C_{2m} (2m\pi x/l)] \cos \lambda_m t, \quad (7)$$

где C и C_{2m} – безразмерные амплитуды «медленных» и «быстрых» радиальных колебаний, соответственно.

2. Частоты и формы собственных колебаний

Вариант 1. Подстановка (1) и (6) в (5) и выполнение процедуры метода Бубнова–Галеркина приводят к следующему выражению для квадрата собственной безразмерной относительной частоты разнотолщинной оболочки:

$$\Omega_m^2 = \lambda_m^2 / \lambda^2 = 1 + 6a_0^2 / (1 + \alpha), \quad (8)$$

где $\lambda^2 = (\pi/l)^4 D(1 + \alpha) / \rho h$ – квадрат частоты оболочки постоянной толщины; $a_0 = A_0/h$ – относительная амплитуда малых начальных несовершенств; $\alpha = 12 / (\xi^4 \eta^2) = 12(l/\pi R)^4 (R/h)^2$ – безразмерный параметр, характеризующий относительную длину и толщину идеальной оболочки.

Из (8) следует, что разнотолщинность приводит к увеличению частоты. Однако этот вывод, по-видимому, противоречит здравому смыслу.

Вариант 2. Подстановка (1) и (7) в (5) и выполнение процедуры метода Бубнова–Галеркина приводят к двум связанным однородным алгебраическим уравнениям относительно безразмерных амплитуд C и C_{2m} :

$$(c_{11} - \Omega_m^2)C + \frac{4a_0}{\pi}(c_{12} - \Omega_m^2)C_{2m} = 0; \quad (9)$$

$$\frac{4a_0}{\pi}(c_{21} - \Omega_m^2)C + (c_{22} - \Omega_m^2)C_{2m} = 0,$$

где

$$\begin{aligned} c_{11} &= 1 + 6a_0^2 / (1 + \alpha); \\ c_{12} &= c_{21} = (12m^2(1 + a_0^2) + \alpha) / (1 + \alpha); \\ c_{22} &= (16m^4(1 + 9a_0^2) + \alpha) / (1 + \alpha). \end{aligned} \quad (10)$$

Частотное уравнение, отвечающее (9), определяет две безразмерные относительные частоты $\Omega_{1m} \ll \Omega_{2m}$.

Из (9) можно найти и отношение амплитуд

$$\begin{aligned} k_0 &= \frac{C}{C_{2m}} = \frac{-4a_0(c_{12} - \Omega_m^2)}{\pi(c_{11} - \Omega_m^2)} = \\ &= \frac{-\pi(c_{22} - \Omega_m^2)}{4a_0(c_{12} - \Omega_m^2)}. \end{aligned} \quad (11)$$

На рис. 2 представим график зависимости значений частот от относительной длины оболочки при $1/\eta = 200$, $a_0 = 0,1$ и $m = 3$. Сплошной линией с квадратиками покажем значения частот, полученные без учета «быстрых» колебаний – $\Omega_m^2(\xi, \eta, a_0)$, определяемые по формуле (8). А сплошной линией с кружочками – значения частот разнотолщинной оболочки $\Omega_{1m}^2(\xi, \eta, a_0)$, полученные с учетом «быстрых» колебаний из (9). Квадрат собственной безразмерной относительной частоты оболочки постоянной толщины $\Omega^2 = 1$ представлен на рис. 2 сплошной линией.

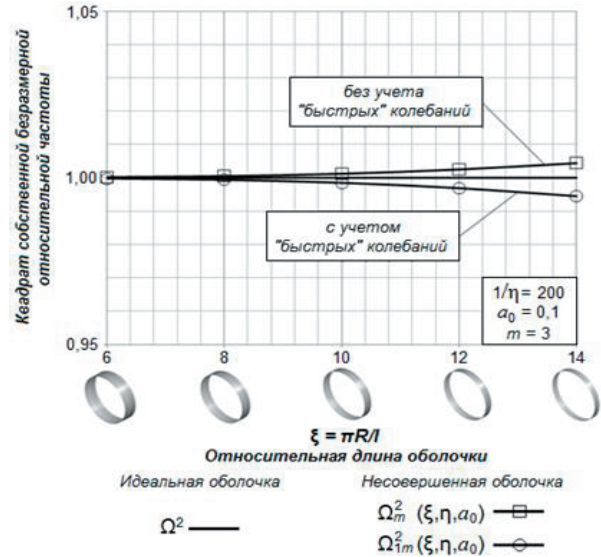


Рис. 2. Зависимость квадрата собственной безразмерной относительной частоты от относительной длины оболочки

Из рис. 2 видно, что уточненная конечномерная модель оболочки – (7), учитывающая «быстрые» колебания, привела к качественно противоположному выводу: разнотолщинность уменьшает, а не увеличивает частоту преимущественно радиальных колебаний относительно коротких оболочек.

Рис. 3 иллюстрирует влияние величины относительной амплитуды малых начальных несовершенств a_0 на собственную частоту преимущественно радиальных колебаний оболочки в зависимости от ее относительной длины ξ .

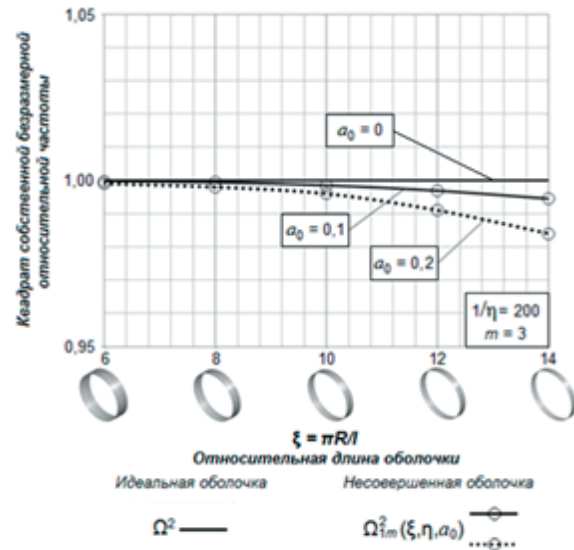


Рис. 3. Влияние амплитуды начальных несовершенств на квадрат собственной безразмерной относительной частоты

На графике (рис. 3) сплошная линия соответствует идеальной оболочке, сплошная линия с кружочками – $a_0 = 0,1$, а пунктирная линия с кружочками – $a_0 = 0,2$. Видно, что понижающее

влияние разнотолщинности усиливается с ростом величины a_0 .

3. Численное моделирование методом конечных элементов

Приведем значения частот преимущественно радиальных колебаний для разнотолщинных оболочек, найденных при помощи МКЭ в ПК ANSYS Workbench, и сравним со значениями, полученными теоретически.

Для создания конечно-элементной модели зададим: геометрические параметры оболочки, свойства материала, тип конечных элементов, граничные условия.

Рассматривались короткие оболочки относительной длиной равной $6 \leq \xi \leq 14$ и относительной толщиной равной $1/\eta = 200$ (рис. 4). Для разнотолщинных оболочек были приняты амплитуды начальных несовершенств $a_0 = 0,1$ и $a_0 = 0,2$ и число $m = 3$. В таблице 1 показаны варианты рассматриваемых оболочек (идеальных и разнотолщинных) с указанием их длины и массы.

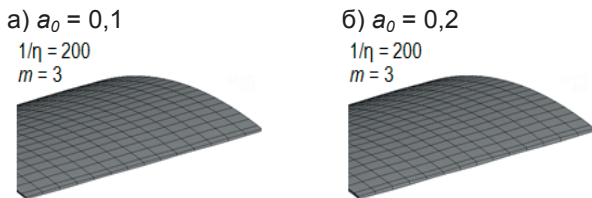


Рис. 4. Короткие разнотолщинные оболочки (в разрезе)

В качестве материала принята сталь, для которой плотность $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$, модуль Юнга $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ и коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$.

Используемый при расчете тип конечных элементов – SHELL181, имеет форму четырехугольной тонкой пластины с четырьмя узлами по углам и учитывает растяжение-сжатие и изгиб. Количество элементов для каждого варианта представлено в табл. 1. Оболочка шарнирно оперта по краям.

Значения, полученных собственных частот идеальной и разнотолщинной оболочек, приведем на графике (рис. 5), где сплошная линия соответствует идеальной оболочке, сплошная линии с кружочками – $a_0 = 0,1$, а пунктирная линии с кружочками – $a_0 = 0,2$. Из графика видно, что наличие малой разнотолщинности привело к снижению частот преимущественно радиальных колебаний рассматриваемых оболочек.

Таблица 1

Параметры идеальной и разнотолщинной оболочек

Вид оболочки	Длина, м	Относительная длина оболочки	Количество элементов	Масса, кг
	0,52	6	28608	129
	0,39	8	21456	97
	0,31	10	16632	77
	0,26	12	14304	65
	0,22	14	14208	55

Для сравнения значений частот, полученных теоретически с частотами, полученными численно, пересчитаем значения частот разнотолщинных оболочек, используя выражение

$$\Omega_{1m}^2 = (\lambda_{1m}/\lambda)^2,$$

приведа, таким образом, значения частот, полученных численно к безразмерному виду. Построим графики зависимости квадрата собственной безразмерной относительной частоты от относительной длины оболочки ξ (рис. 6).

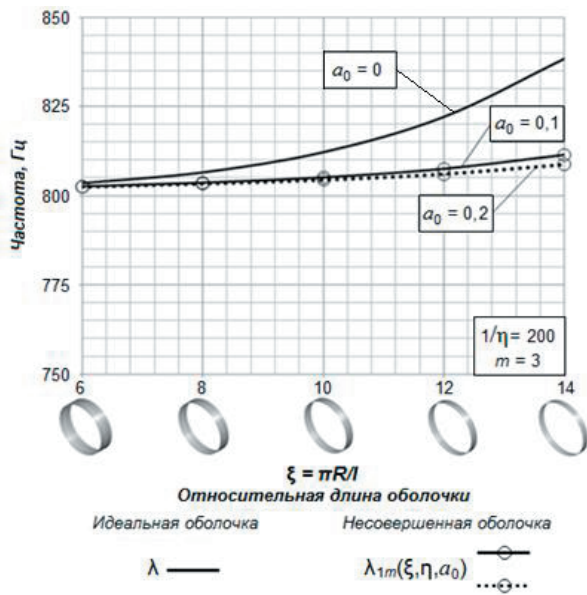


Рис. 5. Зависимость частоты от относительной длины оболочки

Для сравнения значений частот, полученных теоретически с частотами, полученными численно, пересчитаем значения частот разнотолщинных оболочек, используя выражение $\Omega_{1m}^2 = (\lambda_{1m}/\lambda)^2$, приведя, таким образом, значения частот, полученных численно к безразмерному виду. Построим графики зависимости квадрата собственной безразмерной относительной частоты от относительной длины оболочки ξ (рис. 6).

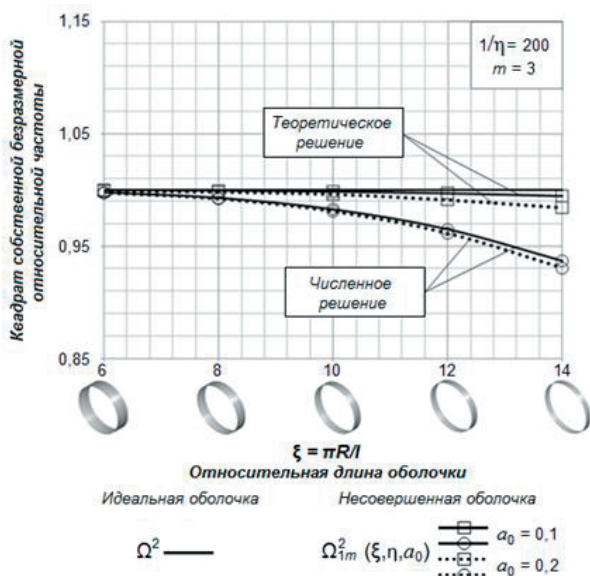


Рис. 6. Сравнение значений квадрата собственной безразмерной относительной частоты, полученных численно и теоретически

Из рис. 6 видно, что малые начальные несовершенства в виде осесимметричной разнотолщинности приводят к снижению частоты преимущественно радиальных колебаний коротких обо-

лочек, как в случае теоретического исследования, так и в случае численного. При этом снижение частоты тем больше, чем меньше длина оболочки и больше значение разнотолщинности. Также отметим, что теоретическое решение дает погрешность и значения частот, полученные численно оказываются значительно ниже значений, полученных теоретически.

Заключение

Выполненное исследование позволяет сформулировать следующие выводы.

1. При практическом расчете радиальных колебаний относительно коротких оболочек, имеющих переменную по длине толщину стенки, необходимо учитывать малозаметные «быстрые» колебания, так как пренебрежение ими может привести к качественно неверному выводу о влиянии разнотолщинности на частоту.

2. Малая начальная разнотолщинность, в отличие от погиби, приводит к снижению частоты радиальных колебаний относительно коротких оболочек.

3. Влияние малой начальной разнотолщинности на собственные частоты преимущественно радиальных колебаний становится заметным только для относительно коротких оболочек (при $\xi > 6$).

4. Расхождение в значениях частот, полученных теоретически и численно, может объясняться тем, что короткая оболочка, испытывающая преимущественно радиальные колебания, заменена на математическую модель, описывающую изгибные колебания стержня-полоски на сплошном упругом основании переменной жесткости. Данная замена, с одной стороны, упрощает вычисления, но, с другой стороны, должным образом не учитывает влияние граничных условий, накладываемых на торцы оболочки.

Литература

1. Блехман, И.И. Вибрационная механика / И.И. Блехман – М.: Физико-математическая литература, 1994, 400 с.
2. Вольмир, А.С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек / А.С. Вольмир. – М.: Наука, 1972, 432 с.
3. Лейзерович, Г.С. Влияние начальной погиби на продольно-радиальные колебания тонких круговых цилиндрических оболочек / Г.С. Лейзерович // Вестник КнАГТУ: Вып. 2. Сб. 1. Ч. 2. Прогрессивные технологии в машиностроении. – Комсомольск-на-Амуре: КнАГТУ, 2000. С. 133-137.
4. Лейзерович, Г.С. Влияние малой разнотолщинности на осесимметричные колебания круговой цилиндрической оболочки / Г.С. Лейзерович, Н.Б. Приходько // Морские интеллектуальные технологии, 2014. №1(23), с. 37-41.
5. Лейзерович, Г.С. О математической модели нелинейных колебаний круговых цилиндрических оболочек с начальными неправильностями. / Г.С. Лейзерович, Н.А. Тарануха // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – Нижний Новгород: НГУ, 2009, № 6 (1), с. 137-141.
6. Лейзерович, Г.С. Об особенностях собственных изгибных колебаний круговых колец с начальными неправильностями. / Г.С. Лейзерович, Н.А. Тарануха // «Прикладная математика и механика». – М: РАН, 2012. – Том 76, вып. 2. – С. 304-310.
7. Лейзерович, Г.С. О собственных изгибных колебаниях тонкого кругового кольца переменной толщины / Г.С. Лейзерович, Н.А. Тарануха, Н.Б. Приходько // Морские интеллектуальные технологии. – Санкт-Петербург, 2013, № 1 (19). – С. 35-38.
8. Тарануха, Н.А. Влияние малой разнотолщинности на собственные изгибные колебания тонкого кругового кольца. / Н.А. Тарануха, Г.С. Лейзерович, Н.А. Козловская // Морские интеллектуальные технологии. – Санкт-Петербург, 2012. – № 2 (16), с. 33-36.
9. Тарануха, Н.А. Динамика «неправильных» оболочек / Н.А. Тарануха, Г.С. Лейзерович // Владивосток: Дальнаука, 2005, 423 с.
10. Тарануха, Н.А. Механика морских динамических систем с большими деформациями из нестандартизированного материала. / Н.А. Тарануха, А.Н. Петрова, Н.Н. Любушкина // Морские интеллектуальные технологии. – Санкт-Петербург: 2010. – № 3 (9), с. 56-59.
11. Тарануха, Н.А. Нелинейные свободные изгибные колебания тонких круговых цилиндрических оболочек. / Н.А. Тарануха, Г.С. Лейзерович // – Владивосток, ДВО РАН: Дальневосточный математический журнал, 2000, т.1, с. 102-110.
12. Тарануха, Н.А. Новые решения в динамике «неправильных» оболочек / Н.А. Тарануха, Г.С. Лейзерович. – Владивосток: Дальнаука, 2007, 203 с.
13. Тарануха, Н.А. О влиянии начальных неправильностей и малой присоединенной массы на расщепление изгибного частотного спектра тонких круговых цилиндрических оболочек. / Н.А. Тарануха, Г.С. Лейзерович // Вестник Саратовского государственного технического университета. – Саратов: СГТУ, 2010, № 1 (44), с. 18-23.
14. Тарануха, Н.А. О влиянии начальных неправильностей на собственные изгибные колебания тонких круговых цилиндрических оболочек. – Новосибирск. / Н.А. Тарануха, Г.С. Лейзерович // Известия вузов: Строительство, 2001, №1 (505), с. 25-28.
15. Leizerovich, G.S. Nonobvious features of dynamics of circular cylindrical shells. / G.S. Leizerovich, N.A. Taranukha // Mechanics of Solids, 2008, Vol. 43, No 2, pp. 246-253.
16. Taranukha, N.A. Effect of Initial Imperfections on the Flexural Eigenvibrations of Cylindrical Shells / N.A. Taranukha., G.S. Leizerovich. // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. - 2001, Vol. 42, No. 2, pp. 345-351.

References

1. Blekhman, I.I. Vibratsionnaya mekhanika (Vibrational mechanics). M.: Fiziko-matematicheskaya literatura, 1994. 400 p.
2. Vol'mir, A.S. Nelineynaya dinamika plastinok i obolochek (Nonlinear dynamics of plates and shells). M.: Nauka, 1972. 432 p.
3. Leyzerovich, G.S. Vliyanie nachal'noy pogibi na prodol'no-radial'nye kolebaniya tonkikh krugovykh tsilindricheskikh obolochek (The Influence of initial deflection on the longitudinal-radial oscillations of thin circular cylindrical shells). Progressivnye tekhnologii v mashinostroyenii. Komsomol'sk-na-Amure, KnAGTU, 2000. T2, Sb 1(2). Pp. 133-137.
4. Leyzerovich, G.S., Prikhod'ko, N.B. Vliyanie maloy raznotolshchinnosti na osesimmetrichnye kolebaniya krugovoy tsilindricheskoy obolochki (The Influence of a small axisymmetric thickness variation on vibrations of circular cylindrical shells). Morskije intellektual'nye tekhnologii, 2014. № 1(23). Pp. 37-41.

5. Leyzerovich, G.S., Taranukha, N.A. O matematicheskoy modeli nelineynykh kolebaniy krugovykh tsilindricheskikh obolochek s nachal'nymi nepravil'nostyami (On mathematical model of nonlinear oscillations of circular cylindrical shells with initial imperfections). Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. Nizhniy Novgorod: NGU, 2009, № 6(1). Pp. 137-141.
6. Leyzerovich, G.S., Taranukha, N.A. Ob osobennostyakh sobstvennykh izgibnykh kolebaniy krugovykh kolets s nachal'nymi nepravil'nostyami (About the features of the free Flexural vibrations of circular rings with initial imperfections). Prikladnaya matematika i mekhanika. M.: RAN, 2012. T. 76(2). Pp. 304-310.
7. Leyzerovich, G.S., Taranukha, N.A., Prikhod'ko, N.B. O sobstvennykh izgibnykh kolebaniyakh tonkogo krugovogo kol'tsa peremennoy tolshchiny. Morskie intellektual'nye tekhnologii (On free Flexural vibrations of thin circular rings of variable thickness). Sankt-Peterburg, 2013. № 1(19). Pp. 35-38.
8. Taranukha, N.A., Leyzerovich, G.S., Kozlovskaya, N.A. Vliyanie maloy raznotolshchinnosti na sobstvennye izgibnye kolebaniya tonkogo krugovogo kol'tsa (The Effect of a small thickness variation on free Flexural vibrations of thin circular rings). Morskie intellektual'nye tekhnologii. Sankt-Peterburg, 2012. № 2(16). Pp. 33-36.
9. Taranukha, N.A., Leyzerovich, G.S. Dinamika «nepravil'nykh» obolochek (Dynamics of "Irregular" shells). Vladivostok: Dal'nauka, 2005. 423 p.
10. Taranukha, N.A., Petrova, A.N., Lyubushkina, N.S. Mekhanika morskikh dinamicheskikh sistem s bol'shimi deformatsiyami iz nestandartizirovannogo materiala (Mechanics of marine dynamical systems with large deformations of non-standard material). Morskie intellektual'nye tekhnologii. Sankt-Peterburg, 2010. № 3(9). Pp. 56-59.
11. Taranukha, N.A., Leyzerovich, G.S. Nelineynye svobodnye izgibnye kolebaniya tonkikh krugovykh tsilindricheskikh obolochek (Nonlinear free Flexural vibrations of thin circular cylindrical shells). Vladivostok, DVO RAN: Dal'nevostochnyy matematicheskiy zhurnal, 2000. T.1. Pp. 102-110.
12. Taranukha, N.A., Leyzerovich, G.S. Novye resheniya v dinamike «nepravil'nykh» obolochek (New solutions in the dynamics of "irregular" shells). Vladivostok: Dal'nauka, 2007. 203 p.
13. Taranukha, N.A., Leyzerovich, G.S. O vliyaniy nachal'nykh nepravil'nostey i maloy prisoedinennoy massy na rasshcheplenie izgibnogo chastotnogo spektra tonkikh krugovykh tsilindricheskikh obolochek (On the influence of initial irregularities and small-attached mass on the splitting of the Flexural frequency spectrum of thin circular cylindrical shells). Saratov: SGTU, 2010. № 1(44). Pp. 18-23.
14. Taranukha, N.A., Leyzerovich, G.S. O vliyaniy nachal'nykh nepravil'nostey na sobstvennye izgibnye kolebaniya tonkikh krugovykh tsilindricheskikh obolochek (On the influence of initial irregularities on free Flexural vibrations of thin circular cylindrical shells). Novosibirsk, Izvestiya vuzov, Stroitel'stvo, 2001. № 1(505). Pp. 25-28.
15. Leizerovich, G.S., Taranukha, N.A. Nonobvious features of dynamics of circular cylindrical shells. Mechanics of Solids, 2008. T 43(2). Pp. 246-253.
16. Taranukha, N.A., Leizerovich, G.S. Effect of Initial Imperfections on the Flexural Eigenvibrations of Cylindrical Shells. Journal of Applied Mechanics and Technical Physics, 2001. T 42(2). Pp. 345-351.

УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 656.6:004

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ БОРЬБЕ С АВАРИЯМИ НА ГАЗОНЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ПЛАТФОРМАХ

Каминский Валерий Юрьевич

кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко Российской Академии наук
199178, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 12 линия, 13
тел. 8(812) 321-95-68, e-mail: Kaminskyvy@yandex.ru

Лукомский Юрий Александрович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой,
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет ЛЭТИ им. В.И.Ульянова (Ленина)
197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д.5
тел. 8(921) 321-53-62, e-mail:loucomsqui@mail.ru

Скороходов Дмитрий Алексеевич

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко Российской Академии наук
199178, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 12 линия, 13
тел. 8(812) 323-29-54, e-mail: info@iptran.ru

Аннотация

Рассматриваются принципы создания систем поддержки принятия решения персоналом платформы при возникновении аварий.

Сформулированы основные требования к системам подобного типа, содержащие базу знаний о платформе и борьбе с авариями; базу данных о платформе и её функциональных комплексах; о механизме вывода, включающего в себя интерпретатор применения знаний при решении задач, и диспетчер, устанавливающий порядок применения знаний; механизмы протоколирования протекания аварийных ситуаций (полученные решения по ведению борьбы с авариями и решения, окончательно принятые).

Сформирован перечень базовых понятий, формализующих представление знаний в рамках предметной области.

Определены способы выработки рекомендаций персоналу для оценки состояний объектов платформы.

Показано, что создание в системе поддержки принятия решения механизма объяснения осуществляется путем предъявления фрагмента цепочки правил, приводящих к формулировке решения или представления полной последовательности правил, обеспечивающих определённое заключение.

Ключевые слова: Авария, знание, метод, платформа, персонал, решение, система, фактор.

ACTIONS IN THE FIGHT ACCIDENTS AT GAS-OIL PLATFORM

Kaminsky Valery Yurievich

Candidate of Engineering Sciences, Docent, Head of the Laboratory,
Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences
13, 12 line, Vasilevsky Ostrov, Saint-Petersburg, 199178
phone: 8(812) 321-95-68, e-mail: Kaminskyvy@yandex.ru

Lukomsky Yury Alexandrovich

Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Head of Department,
Saint Petersburg Electrotechnical University LETI
5, Professor Popov street, Saint-Petersburg, 197376
phone: 8(921) 321-53-62, e-mail:loucomsqui@mail.ru

Skorokhodov Dmitriy Alekseevich

Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Chief Researcher Officer,
Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences
13, 12 line, Vasilevsky Ostrov, Saint-Petersburg, 199178
phone: 8(812) 323-29-54, e-mail: info@ipttran.ru

Abstract

Discusses principles of creation of systems of support of decision-making personnel platform in the event of accidents.

The basic requirements to systems of this type, containing the knowledge base about the platform and the fight against accidents; data base about the platform and its functional complexes; the inference engine, including the interpreter of the application of knowledge during decision tasks, and the Manager, establishing the procedure for application of knowledge; mechanisms of logging the occurrence of emergency situations (of the obtained solution for dealing with accidents and decisions finally adopted).

A list of basic concepts that formalize the representation of knowledge within the subject area.

Identifies methods of development of recommendations for the platform personnel to assess the state of the platform.

It is shown that the establishment of system of support of decision-making mechanism of explanation is done by presenting the fragment of the chain of rules leading to the formulation of the decision or reporting of a sequence of rules that provide a definite conclusion.

Keywords: Accident, knowledge, method, platform, staff, solution, system, factor.

Введение

Характерными особенностями задач борьбы с авариями на газонефтедобывающих платформах (БАГНП) являются [1-4]:

- задачи БАГНП не поддаются строгому математическому анализу и решению классическими алгоритмическими методами. Требуется использование эмпирико-эвристических правил и упрощений, ограничивающих область поиска решений;
- стратегия, тактика и правила ведения БАГНП являются результатом обобщения эмпирических ассоциаций, накопленных опытом борьбы с авариями, а также опытом проведения учений по отработке действий по БАГНП;
- индивидуальные особенности проектных решений, принятых при создании платформы, и характер протекания аварийной ситуации.

Задачи БАГНП включают в себя: идентификацию аварийной обстановки, определение первоочередных мероприятий по локализации и ликвидации аварии в зависимости от степени ее опасности, локализацию и ликвидацию поражающих факторов, сопровождающих аварию и организацию и координацию действий персонала.

При БАГНП одновременно могут решаться задачи борьбы [5-6]:

- с пожаром,
- за герметичность корпуса,
- за живучесть технических устройств
- защиты и спасения личного состава.

2. Требования к системе поддержки принятия решений (СППР)

Средство автоматизации решения задач в БАГНП может быть реализовано в виде си-

стемы поддержки принятия решений руководителями БАГНП (СППР БАГНП), которое (средство) должно отвечать следующим требованиям [7-8]:

- должно ориентироваться на пользователя далекого от программирования, поэтому все её сообщения должны восприниматься пользователем на естественном профессиональном языке;
- должно обеспечивать интерактивный диалоговый режим пользователя;
- уровень компетентности системы должен быть выше профессиональной компетентности пользователя;
- помощь, оказываемая пользователю по решению задач БАГНП, должна быть организована так, чтобы все рекомендации системы могли быть проверены и объяснены в понятной и привычной форме;
- обращения к системе не должны обременять пользователя при руководстве БАГНП;
- СППР БАГНП должна являться оперативным справочным устройством при решении пользователем специальных задач, не отменяющим при этом профессиональных обязанностей и ответственности.

В СППР БАГНП должны быть отражены [9-10]:

- знания о платформе и борьбе за её живучесть, содержащиеся в справочной и проектной документации, в руководствах, наставлениях и инструкциях по БАГНП.
- опыт и знания решения задач БАГНП, отвечающие уровню наиболее квалифицированных корабельных специалистов.
СППР БАГНП должна содержать:
 - базу знаний о платформе и БАГНП;

- базу данных о платформе и её функциональных комплексах;
- механизм вывода, включающий в себя интерпретатор, определяющий порядок применения знаний при решении задач;
- механизмы протоколирования развития аварийных ситуаций, решений, сгенерированных системой и решений по ведению БАГНП окончательно принятых.

3. Базовые понятия формализованного представления знаний

Сформулируем базовые понятия формализованных представлений знаний предметной области «Платформа» применительно к БАГНП, а именно:

- организационная система, включающая органы управления службами;
- технические средства и средства борьбы за живучесть, обеспечивающие движение и маневрирование платформы, снабжение потребителей необходимыми видами энергии и рабочих сред (рабочие, огнегасящие и нейтрализующие вещества), борьбу с поражающими факторами и их последствиями;
- объемно-пространственные и конструктивные сооружения, формирующие архитектуру платформы и обеспечивающие непотопляемость, пожаровзрывозащищенность, обитаемость и размещение оборудования;
- имущество, включающее средства устранения аварийных повреждений, локализацию распространения поражающих факторов и защиту личного состава от них;
- запасы, обеспечивающие деятельность платформы как самостоятельной функциональной единицы.
- В пределах выделенных понятий обозначим структуру организационной системы, объемно-пространственных и конструктивных сооружений.
- Организационная система: пост управления, запасной пост управления, аварийный пост и аварийный номер.
- Объемно-пространственные сооружения: противопожарная зона, главный водонепроницаемый отсек, междупалубное пространство, междудонное пространство, ярус, водонепроницаемый отсек, герметичный контур, зона коллективной защиты, помещение, шахта, трюм, цистерна, жилые и служебные помещения.
- Конструктивные сооружения: палуба / платформа, второе дно, бортовая обшивка, днищевая обшивка.
- При этом структурными элементами объемно-пространственного объекта «помещение» являются: ограждающие конструкции и трап.
- Структурными элементами ограждающих конструкций объемно-пространственного объекта «помещение» являются: люк, горловина, дверь, крышка, проем, вырез, иллюминатор, устройство для прохода коммуникационных трасс, устройство

спуска-перепуска воды, устройство снятия давления воздуха, устройство отвода-приема воздуха, устройство отвода-приема воды и забортное отверстие.

- Исходя из особенностей ведения БАГНП, множество помещений платформы целесообразно разделить на помещения, расположенные в основном корпусе платформы; помещения, расположенные на верхней палубе и помещения, расположенные в надстройке платформы.
- С позиций тяжести аварийных ситуаций при возникновении пожаров, способов их локализации и ликвидации, помещения платформы можно представить следующей совокупностью: хранилища топлива, хранилища лаков и красок, хранилища баллонов с горючими газами, энергетические отсеки, жилые и служебные помещения.
- Технические средства и средства борьбы с авариями представляются следующими элементами: система, автономный участок и элементарный объект¹.
- Элементарные объекты целесообразно классифицировать следующим образом:
 - - преобразовательный объект;
 - - аккумулирующий объект;
 - - коммутирующий объект;
 - - коммуникационный объект.
- Имущество подразделяется на следующие компоненты: противопожарное имущество, имущество для устранения повреждений корпуса, для устранения повреждений трубопроводов, электротехническое, водолазное, сварочное имущество, средства индивидуальной защиты личного состава, средства спасения экипажа платформы и медицинское имущество.
- Для описания моделей платформы необходимо использовать семантический язык. При этом требуется разработка базовых отношений. Используя множества базовых отношений концептуальные модели объектов платформы можно описать семантической сетью.
- В аналитической форме семантическую сеть, отображающую знания об объектах платформы, можно задать с помощью семантических кодов. Особенностью семантического кода является:
 - большая близость к уровню естественного языка;
 - отсутствие указаний об использовании объектов при решении той или иной задачи борьбы с авариями, что дает возможность рассматривать семантический код с различных точек зрения и на разных уровнях абстракции в зависимости от решаемой задачи.
 - возможность модификации семантических кодов объектов платформы путем добавления или исключения утверждений, не нарушающих их общую структуру.

¹ Элементарный объект – механизм, устройство – неделимый объект, выполняющий законченную технологическую операцию.

- обеспечение одинаковой записи знаний об объектах платформы и алгоритмическое распознавание их с полнотой и точностью, которые отвечают требованиям решения задач борьбы с авариями.

4. Этапы БАГНП

Руководители БАГНП решают задачи двух типов. Задачи первого типа – это выбор технологии изменений состояний аварийных объектов и объектов, которые с ними связаны. В этих задачах необходимо найти ответы на вопросы: «чем?», «кто?», «когда?», «где?» должен выполнить действия по изменению состояния аварийного объекта.

Структурная схема этапов БАГНП для задач первого типа может быть представлена следующим образом: этап, технология, технический процесс, технический подпроцесс и действие.

Выбранная технология представляется некоторой графом. Вершинам соответствуют технические процессы (подпроцессы), а дугам – связи, описывающие отношения между ними. С каждой технологией связываются условия ее применения, ожидаемые результаты, условия выполнения отдельного этапа технологического процесса и техпроцесса в целом, а также сопутствующие условия выполнения (например, меры соблюдения безопасности).

Представление технологического процесса на моделях объектов платформы включает описание объектов в нём участвующих. Описание представляется поисковым образом объекта и необходимой информацией о нём для выполнения действий, условиями переходов и связей между действиями, а также распределением результатов по действиям, для достижения требуемого итогового результата.

Технологический процесс должен содержать ответы на вопросы «чем?», «кто?», «когда?», «где?» и описывать действия над необходимыми объектами.

Задачи второго типа – это задачи оценки состояния объектов платформы в целом, опасности аварийной ситуации, возможных направлений развития аварийной ситуации, выбора главных направлений БАГНП, важности того или иного объекта в текущий момент и т.п.

В задачах второго типа, связанных с идентификацией ситуаций, идёт поиск ответов на вопросы: «что случилось?», «когда случилось?», «где случилось?», «что за цели стоят в данной ситуации?», «что делать?», а в задачах прогнозирования развития ситуации нужно ответить на вопросы: «что может случиться?», «где может случиться?», «почему может случиться?», «когда может случиться?», «что можно сделать?».

Задачи второго типа, связанные с различными оценками, можно разделить на следующие подзадачи:

- оценка состояния отдельных объектов платформы;
- оценка состояния платформы в целом;
- оценка важности объекта платформы в текущий момент времени;
- оценка степени опасности состояния объектов и платформы в целом;
- оценка возможных направлений развития аварийной обстановки;
- выбор главных направлений БАГНП;
- выбор маршрутов для удаления опасных предметов и вещей из определенных районов платформы;
- доставка средств индивидуальной защиты и средств борьбы с авариями в определённые зоны платформы;
- эвакуация персонала из опасных зон платформы к местам оказания помощи.

4. Методы решения типовых задач

Задачи первого типа могут быть решены с помощью продукций.

Оценка состояний объектов платформы сводится к идентификации явлений, порождающих поражающие факторы, определению наличия в аварийном районе предметов и вещей, способствующих ухудшению обстановки и приводящих к опасному развитию ситуации. Решение задач первого типа связано с двумя процессами:

- поиск на моделях платформы объектов, расположенных в районе аварийной обстановки, которые могут ухудшать ситуацию;
- оценка опасности или неопасности состояния того или иного объекта, опасности или неопасности состояния платформы.

В зависимости от результатов анализа решаются задачи удаления объектов из аварийного района и изменения их состояния при котором обстановка не усугубляется.

При определении главных направлений БАГНП (задачи второго типа) выполняется оценка:

- важности объекта для функционирования платформы и решаемых им задач в текущий момент времени. При этом учитываются энергия и вид рабочих сред, которые генерирует или транспортирует объект, представляющий интерес. Уточняется функция платформы, которая теряется при отказе его (объекта) функционирования. Последнее описывается с помощью продукций;

- возможного направления распространения поражающих факторов из аварийного района. Решение связано с поиском на моделях плат-

формы объектов, наименее стойких к возникшему поражающему фактору, а с помощью продукций, описывающих наличие того или иного поражающего фактора, и направления нахождения наименее стойкого объекта, делается вывод о направлении распространения поражающего фактора.

Задачи вывода персонала из аварийных помещений (маршрутизация) связаны с тремя процессами:

- поиск на моделях объектов платформы выходов из аварийных отсеков в смежные отсеки;
- нахождение в смежных отсеках выходов на вышележащую (нижележащую) палубу (платформу);
- нахождение в смежных отсеках прохода в помещение, имеющее выход на вышележащую (нижележащую) палубу (платформу).

Эти три процесса дают возможность определить достаточные условия для выделения маршрута. Реализация маршрута зависит от условий наличия или отсутствия аварийных ситуаций в помещениях указанных отсеков. Отсутствие в помещении, по которому проложен маршрут, аварийной ситуации, является достаточным условием реализации маршрута движения. Условия достаточности можно описать с помощью продукции.

Связанность помещений отсека, из которого необходимо проложить маршрут, со смежными отсеками можно описать матрицами смежности.

Использование продукций дает возможность мо-

Заключение

1. Концепция построения СППР при БАГНП с позиций охвата всего информационного цикла БАГНП «данные – первичная информация – релевантная информация – знания субъекта управления» резко повышает эффективность информационного обеспечения БАГНП, дает возможность разрешить противоречие между «информационным взрывом», обусловленным усложнением техники платформы, и «информационным голодом», обусловленным низкой технологией обработки информации.

2. Ключевым моментом принципа охвата всего информационного цикла управления БАГНП является переход к семантическим информационным моделям объектов платформы, правилам и способам ведения БАГНП. Только на их основе может быть обеспечена интеграция всех стадий движения информации в единый информационный процесс.

3. Использование семантических информационных моделей открывает возможность для создания высокоэффективной информационной технологии превращения первичной информации в релевантную, соответствующую индивидуальным информационным потребностям лиц, принимающих решения по БАГНП, с учетом их прав, обязанностей, функций и воз-

делировать незапланированные взаимодействия объектов платформы, которые не могут быть воспроизведены при использовании структур, в которых все взаимодействия предусмотрены заранее.

Создание в СППР механизма объяснения достижения СППР БАГНП конкретного решения, осуществляется путем предъявления либо части цепочки правил, которые привели к получению решения, либо всей последовательности правил, приведших к этому выводу (заключению).

Данный принцип может быть применен и для гипотетических рассуждений, когда СППР БАГНП объясняет, что получилось бы, если бы конкретный факт или правило были другими, а также для рассуждений, когда система отвечает на вопрос, почему ожидаемый вывод не был получен.

С экономической точки зрения СППР обладают следующим достоинствами:

- основные затраты связаны с разработкой головных образцов СППР;
- серийные образцы характеризуются легкостью получения копий головных образцов;
- передача компетенций головных образцов другим платформам – это элементарный процесс копирования программ или файлов данных;
- разрабатываемые программные продукты для системы определённого вида могут быть для системы другого вида адаптированы, а иногда и использованы без доработок.

возможностей в текущий момент времени. С другой стороны, семантические информационные модели обеспечивают органическое единство процесса перехода данных и знаний в знания субъекта управления.

4. Выработка решений по БАГНП принимают вид задачи представления знаний о платформе и БАГНП в памяти СППР в форме баз данных и знаний, где информационные образования связаны между собой не столько за счет известных методов адресата информационных массивов и их элементов, сколько за счет образования в структуре базы данных и знаний семантических связей между содержащимися в ней сведениями и информацией.

5. Семантическое структурирование знаний о платформе обеспечивает индивидуальность и самостоятельность СППР в оценке входных запросов, возможность семантической и прагматической интерпретации запросов, выработку семантически и прагматически правильного ответа. Имея возможность непосредственной связи с СППР посредством терминального устройства, персонал платформы может оперативно пользоваться информацией по интересующему его вопросу, накопленной в памяти СППР, анализировать различные ситу-

ации, моделировать последствия своих решений.

6. СППР позволит персоналу платформы более оперативно определять действия по достижению целей БАГНП, «спрашивая» СППР: «Что делать в той или иной ситуации?», «Как достигнуть той или иной цели?», «А что, ес-

ли...?», вместо того, чтобы в условиях резкого дефицита времени искать необходимые сведения и данные в многочисленной и порой не связанной между собой документации по БАГНП, чертежах и схемах систем и оборудования платформы.

Литература

1. Dong-Ki Park, Yun-Ho Shin, Jung-Hoon Chung, Eui S. Jung, Development of damage control training scenarios of naval ships based on simplified vulnerability analysis results, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 8, Issue 4, July 2016, P. 386-397.

2. Seung-Chun Shin, Jong-Gye Shin, Dae-Kyun Oh, Development of data analysis tool for combat system integration, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 5, Issue 1, March 2013, P. 147-160.

3. Sheng Liu, Bowen Xing, Bing Li, Mingming Gu, Ship information system: overview and research trends, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 6, Issue 3, September 2014, P. 670-684.

4. Jin Choi, Dongkon Lee, Hee Jin Kang, Soo-Young Kim, Sung-Chul Shin, Damage scenarios and an onboard support system for damaged ships, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 6, Issue 2, June 2014, P. 236-244.

5. Douglas Rigterink, Rebecca Piks, David J. Singer, The use of network theory to model disparate ship design information, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 6, Issue 2, June 2014, P. 484-495.

6. Скороходов Д.А., Стариченков А.Л. Принципы построения системы информационной поддержки для принятия решений в аварийных ситуациях // *Морские интеллектуальные технологии*. 2009. №1(3). С. 48-56.

7. Верховланцев А.А., Скороходов Д.А. Модель переключения технических средств при повседневной и аварийной эксплуатации судна // *Морские интеллектуальные технологии*. 2010. №3-1. С. 88-91.

8. Маринов М.Л., Малыгина Е. А. Роль человеческого фактора в проблеме транспортной безопасности // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2013. №2 (26), С.19–26.

9. Евсеенко С.М., Скороходов Д.А. О степени интеллектуализации, роботизации и интегрированной оценки управления организационно-технологическими процессами предприятия и корабля // *Морские интеллектуальные технологии*. 2013. №4(22). С.53-60.

10. Поляков А.С., Скороходов Д.А. Принципы обработки информации по оценке надёжности оборудования транспорта // *Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы*. 2013. № 3. С.65-69.

References

1. Dong-Ki Park, Yun-Ho Shin, Jung-Hoon Chung, Eui S. Jung, Development of damage control training scenarios of naval ships based on simplified vulnerability analysis results, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 8, Issue 4, July 2016, P. 386-397.

2. Seung-Chun Shin, Jong-Gye Shin, Dae-Kyun Oh, Development of data analysis tool for combat system integration, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 5, Issue 1, March 2013, P. 147-160.

3. Sheng Liu, Bowen Xing, Bing Li, Mingming Gu, Ship information system: overview and research trends, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 6, Issue 3, September 2014, P. 670-684.

4. Jin Choi, Dongkon Lee, Hee Jin Kang, Soo-Young Kim, Sung-Chul Shin, Damage scenarios and an onboard support system for damaged ships, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 6, Issue 2, June 2014, P. 236-244.

5. Douglas Rigterink, Rebecca Piks, David J. Singer, The use of network theory to model disparate ship design information, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 6, Issue 2, June 2014, P. 484-495.

6. Skorohodov D.A., Starichenkov A.L. Principy postroeniya sistemy informacionnoj podderzhki dlja prinjatija reshenij v avarijnyh situacijah [Principles of construction of information support system for decision-making in emergency situations]. *Morskije intellektual'nye tehnologii*. 2009. №1 (3). P. 48-56.

7. Verholancev A.A., Skorohodov D.A. Model' perekljuchenija tehniceskikh sredstv pri povsednevnoj i avarijnoj jekspluataciji sudna [The shift pattern technical facilities for daily and emergency operation of the vessel]. *Morskije intellektual'nye tehnologii*. 2010. №3-1. P. 88-91.

8. Marinov M.L., Malygina E. A. Rol' chelovecheskogo faktora v probleme transportnoj bezopasnosti [The role of human factor in the problem of transport security]. Problemy upravlenija riskami v tehnosfere. 2013. №2 (26), P. 19–26.

9. Evseenko S.M., Skorohodov D.A. O stepeni intellektualizacii, robotizacii i integrirovannoj ocenki upravlenija organizacionno-tehnologicheskimi processami predpriyatija i korablja [On the degree of intellectualization, robotics and integrated evaluation of organizational and technological processes on an enterprise and ship]. Morskie intellektual'nye tehnologii. 2013. №4 (22). P. 53-60.

10. Poljakov A.S., Skorohodov D.A. Principy obrabotki informacii po ocenke nadjozhnosti oborudovanija transporta [The principles of information processing on the evaluation of the reliability of the equipment transport]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby. 2013. № 3. P. 65-69.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

УДК 629.123

ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТЫ ФЛОТА НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ ШЕЛЬФЕ

Кондратенко Александр Алексеевич
аспирант кафедры проектирования судов
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
190008, Санкт-Петербург, ул. Лощманская, 3
e-mail: aleksandrkondratenko@live.com

Аннотация

Определение состава флота судов снабжения, а также танкеров и газовозов, является актуальной задачей в связи с активным освоением морских месторождений. Её решение затрудняется при рассмотрении транспортных систем, работающих в регионах с суровыми погодными условиями. Для повышения качества оценок и автоматизации расчетов в этой области необходимо совершенствование существующих и разработка новых технологий, методов и инструментов.

В статье рассмотрен новый метод, позволяющий выполнить анализ и сопоставление различных конфигураций транспортной системы с учетом множества важных факторов, среди которых: неравномерность процессов (изменение погодных условий и грузопотоков, динамика наполнения хранилищ), индивидуальные характеристики судов и обслуживаемых объектов, технологические особенности работы морских нефтегазовых сооружений.

Метод реализован в виде компьютерной программы, которая осуществляет планирование рейсов для всех судов в транспортной системе на рассматриваемый период. В статье приведен расчетный пример, включающий анализ работы и сопоставление двух конфигураций флота судов снабжения. В завершение статьи обозначены возможные сферы применения разработанной компьютерной программы.

Ключевые слова: суда снабжения, суда обеспечения, состав флота, морские транспортные системы, планирование рейсов.

PLANNING OF OFFSHORE FLEET OPERATION

Kondratenko Aleksander Alekseevich
Post graduate student of ship design department,
State Marine Technical University of Saint-Petersburg
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation
e-mail: aleksandrkondratenko@live.com

Abstract

Supply fleet composition is actual issue caused by active exploration of marine fields. The same declaration is right for oil and gas tankers' fleet to. Solution of this problem is especially difficult in case of significant inconstancy of weather conditions during year. Development of new technologies, methods and tools needs for handling of unique troubles, rise of evaluations' quality and calculation automation.

In this article the new method for analysis and comparison of marine transport systems' configurations with consideration of many important factors is presented. Among this factors are: irregularity of weather and cargo flows, storage filling dynamics, individual characteristics of vessels and offshore structures, features of technological processes.

Method has been embodied as a computer program that makes voyages schedule for each vessel in system during all period of structures' operation.

The article presents a calculation example that includes analysis and comparison of two alternative supply fleet configurations. In conclusion fields of application for developed tool highlighted.

Key words: supply vessels, support vessels, fleet composition, marine transport systems, fleet operation planning.

Введение

При практической эксплуатации, а также анализе эффективности различных конфигураций морских транспортных систем (МТС), работающих в условиях Арктики, возникает необходимость подробного стратегического планирования работы флота. Основной задачей такого планирования является составление расписания рейсов на длительный срок для каждого судна в системе при выполнении обязательных требований. Суть этих требований заключается в осуществлении транспортировки заданного грузопотока, а также обеспечении непрерывности технологических процессов на морской буровой установке (МБУ) или платформе при наиболее рациональном использовании флота. Далее рассмотрена практическая реализация программного модуля (планировщика), позволяющего решить поставленную задачу.

Среди методов, позволяющих планировать рейсы судов нефтегазового флота, можно выделить два главных направления. Первое из них разрабатывается норвежскими специалистами и основано на компьютерных расчетах с применением комбинаторной оптимизации [1-3]. Целью этих расчетов является получение единого регулярного недельного расписания рейсов для каждого сезона года, а также определение необходимого количества судов. Сильные стороны данных методов – использование строгих оптимизационных алгоритмов и возможность поиска наилучшей последовательности обхода судном снабжения множества обслуживаемых буровых установок и платформ. Однако эти методы также имеют ряд серьезных недостатков. Из-за высокой вычислительной сложности используемых алгоритмов модель системы и протекающих в её рамках процессов имеет низкую степень детализации, в частности отсутствие планирования конкретных рейсов, допущение о равномерности погодных условий и грузопотоков в течение сезона. Все перечисленные особенности ограничивают сферу применения данных методов: они подходят для выполнения предварительных технико-экономических оценок морских транспортных систем, работающих при погодных условиях, незначительно изменяющихся в течение одного сезона.

Вторая группа методов разрабатывается отечественными исследователями [4, 5]. Её отличительной особенностью является использование последовательного планирования от начала к концу рассматриваемого периода с применением псевдооптимальных эвристических алгоритмов. Главное преимущество данных методов – возможность моделирования системы с учетом всех параметров, оказывающих существенное влияние на её эффективность. Метод, описанный в работе [5] позволяет спланировать рейсы судов на весь период эксплуатации транспортной системы с учетом большого числа её особенностей, однако многие

из них рассчитываются приблизительно. Предлагаемый инструмент относится ко второй группе и позволяет детально учитывать особенности МТС, в частности неравномерность погодных условий и грузопотоков в течение года. В процессе создания «Планировщика» был подробно проанализирован и принят во внимание практический опыт эксплуатации различных МТС.

Модуль планирования состоит из двух функциональных частей, которые позволяют работать с транспортными судами (танкеры, газовозы) и флотом снабжения. В алгоритмах важную роль играют натурные данные: характерные времена выполнения грузовых операций судов на каждый месяц для порта и МБУ/платформы. «Планировщик» учитывает специфику технологических процессов на МБУ/платформе, таких как распаковка генеральных и тарных грузов, их потребление, выделение отходов и упаковка для отправки в порт. Важной особенностью «Планировщика» является расчет соответствующей грузопотокам динамики наполнения грузовых хранилищ и площадок. Работа модуля организована таким образом, чтобы максимально отдалить момент их переполнения или опустошения, в зависимости от направленности грузопотока, используя имеющиеся ресурсы моделируемой конфигурации системы. Использование реального графика грузопотоков позволяет учесть значительную неравномерность процессов в системе, что дает существенное преимущество в объективности оценок «Планировщику» по сравнению с методами, которые используют грузопотоки «по среднему». Для определения длительности перехода между портом и МБУ/платформой различных судов в конкретных погодных условиях используется разработанная в КГНЦ уникальная технология «роутинга» [6], позволяющая находить оптимальный путь следования, в том числе с учетом особенностей ледовых условий на акватории.

1. Основные принципы организации и функционирования модуля планирования

Расчетный модуль написан на языке программирования С#. В качестве входных данных для планирования выступают:

- подробное описание параметров объектов, входящих в МТС, в том числе конфигурации грузовых пространств МБУ/платформы и судов;
- пространственное расположение МБУ/платформы, порта отгрузки нефти (газа) и базы снабжения;
- характеристики перевозимых грузов: объем, масса, плотность и занимаемая площадь, совместимость хранения;
- объемы грузопотоков, составленные в соответствии с потребностями МБУ/платформы);
- параметры погоды рассматриваемого региона, включая ледовые и ветро-волновые условия, а также глубины акватории;

- среднестатистические длительности грузовых операций для каждого судна по месяцам на МБУ/платформе и базе снабжения

Задание на планирование создается на основе данных по грузопотокам и формируется в виде дневного и месячного расписания заявок. Дневное расписание выражает фактические дневные потребности, а месячное служит ориентиром при контроле хода выполнения задания. Особенностью «Планировщика» по сравнению с имитационными моделями является отсутствие стохастических параметров, т.к. планирование невозможно осуществлять в условиях неопределенности.

2. Алгоритм планирования работы флота

После того, как задание сформировано и начальное состояние всех элементов системы определено, происходит непосредственное выполнение цикла планирования. Укрупненная блок-схема модуля приведена на рис. 1. На ней цветом выделены те элементы, которые выполняются только в случае планирования рейсов судов снабжения. На блок-схеме под прямым грузопотоком понимается поток грузов из порта на МБУ/платформу, а под обратным – противоположно направленный.

Каждая итерация состоит из ряда общих для всех типов судов действий (рис. 1):

- определение текущего состояния МБУ/платформы;
- расчет времени наполнения или опустошения грузовых хранилищ до предельного уровня;
- определение критического груза;
- выбор из доступного флота судов, способных перевозить рассматриваемый груз;
- определение лучшего судна-исполнителя;
- расчет возможности выполнения операции лучшим судном-исполнителем в предельные сроки;
- переход судна от порта к МБУ/платформе;
- погрузка обратных грузов;
- исключение обработанных партий грузов, относящихся к прямому и обратному грузопотокам из плана поставок;
- переход в порт. Разгрузка судна.

Под определением текущего состояния МБУ/платформы понимается поиск значений уровней заполнения хранилищ и грузовых площадок с детализацией по составу грузов на момент завершения последней операции с ней. По каждому хранилищу в соответствии с графиками добычи нефти (газа), потребления снабжения и появления обратных грузов рассчитывается время наступления критического события: переполнения хранилища или опустошения резервуаров со снабжением до нулевого значения. После определения такого временного ряда самая ранняя из дат принимается в качестве расчетной, а груз, для которого она рассчитана, считается критическим.

Следующим этапом планирования является поиск среди флота МТС судов, способных осуществлять транспортировку критического груза, и добавление их в список для дальнейшего рассмотрения. Полученный список является основанием для выбора наилучшего судна-исполнителя путем оптимизации с использованием соответствующего критерия K . В модуле планирования предусмотрены несколько вариантов расчета его значения, соответствующих различным стратегиям работы флота: максимальное отдаление переполнения хранилища и использование минимального количества судов. Значения критерия в обоих случаях рассчитываются по приведенной ниже формуле, однако в первом случае характерное время t определяется как интервал между завершением последней операции с МБУ/платформой и минимально возможным временем поставки груза, а во втором, как полная длительность поставки грузов с базы снабжения на обслуживаемый объект.

$$K = \frac{Q}{t}, \text{ ед./сут.},$$

где Q – полезный объем или площадь для перевозки критического груза, t – характерное время.

Если минимальное время поставки грузов превышает время наступления критического события, значение критерия принимается равным нулю. При рассмотрении судна, транспортирующего нефть или газ с платформы, такое время рассчитывается путем прибавления ко времени его освобождения от предыдущей операции суммы длительностей перехода танкера от порта до платформы и грузовых операций в расчетных условиях.

Дальнейшая работа осуществляется с оптимальным судном. В качестве первого шага после его выбора выполняется проверка значения критерия эффективности. Если он равен нулю, система признается неустойчивой и более не рассматривается. Дальнейший её анализ не представляет интереса, однако перед завершением расчета производится запись плана рейсов судов до наступления последнего события.

На следующем этапе планирования для судов снабжения предусмотрен ряд специализированных операций (см. рис. 1), которые подробнее описаны в пункте 3. Затем общим шагом для судов всех типов является расчет времени выхода судна из порта, длительности перехода от порта до МБУ/платформы и запись соответствующей операции в план. Время выхода определяется исходя из ряда факторов, среди которых время освобождения судна, а также наличие или отсутствие минимальной партии целевого груза.

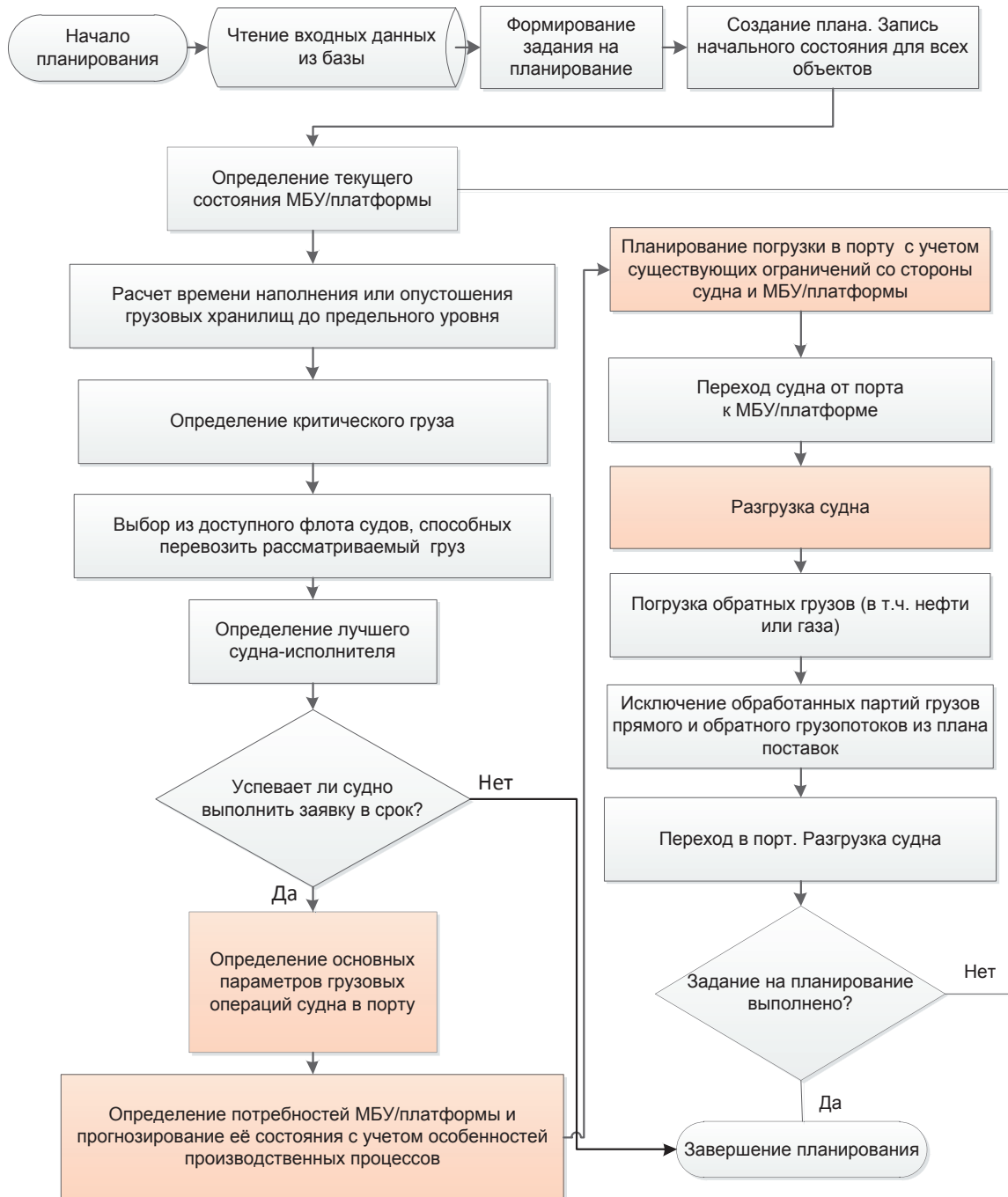


Рис. 1 Укрупненная блок-схема вычислительного алгоритма, реализованного в модуле «Планировщик»

Планирование операции погрузки обратных грузов на МБУ/платформе заключается в определении её параметров с учетом длительности грузовых операций, наличия или отсутствия полной грузовой партии на момент предполагаемого окончания погрузки (для танкеров), количества обратных грузов на МБУ/платформе (для снабженцев) и занятости причала МБУ/платформы. Суда снабжения осуществляют погрузку с МБУ/платформы без ожидания накопления полной партии. После записи грузовой операции партии прямых и обратных грузов исключаются из плана поставок.

Каждый цикл планирования завершается записью операций перехода судна от МБУ/платформы до порта и разгрузки судна в порту. После каждой итерации «Планировщик» осуществляет проверку на завершенность выполнения задания. Если критерий завершенности имеет отрицательное значение, итерации повторяются, в противном случае расчет прекращается и план передается пользователю или на последующее имитационное моделирование.

3. Особенности планирования флота судов снабжения

В связи со спецификой работы судов снабжения при планировании возникает необходимость проведения следующих дополнительных мероприятий:

- Определение основных параметров грузовых операций судна в порту
- Определение потребностей МБУ/платформы и прогнозирование её состояния с учетом особенностей технологических процессов
- Планирование погрузки в порту с учетом существующих ограничений со стороны судна и МБУ/платформы
- Разгрузка судна на МБУ/платформе

При составлении расписания рейсов для судов снабжения после выбора наилучшего судна и проверки принципиальной возможности выполнения плана необходимо оценить время завершения грузовых операций на МБУ/платформе. Это время определяется путем прибавления к моменту освобождения судна длительностей погрузки в порту, перехода от порта к МБУ/платформе и грузовых операций на ней. Для полученного момента времени рассчитываются соответствующие уровни заполнения хранилищ и площадок по каждому грузу и определяются потребности МБУ/платформы в снабжении. После этого, при необходимости, время выхода судна с базы снабжения может быть откорректировано таким образом, чтобы прийти к моменту достижения минимально значимого уровня опустошения или заполнения хранилищ и площадок хранения (в зависимости от направления грузопотока) по критическому грузу. Важно отметить, что при прогнозировании состояния МБУ/платформы и определении потребностей учитываются особенности технологических процессов: все грузопотоки сбалансированы по таре, моделируется потребление снабжения, распаковка тары (для генеральных грузов), образование отходов и упаковка обратных грузов в свободную тару.

Планирование величины грузовых партий по каждому виду снабжения осуществляется с учетом всех значимых ограничений, как со стороны судна, так и со стороны МБУ/платформы, среди которых:

- приоритетность грузов исходя из потребностей МБУ/платформы;
- вместимость хранилищ и площадок судна по каждому типу груза;
- грузоподъемность судна.
- уровень заполнения хранилищ и площадок МБУ/платформы по каждому типу груза;

- количество генеральных грузов обратного потока на площадке МБУ/платформы;

Заполненная и пустая тара, а также обратные грузы учитываются при расчете занятой площади на грузовых площадках.

Определение состава грузов в партии и их количества осуществляется в виде последовательного циклического процесса, направленного на равномерное отдаление даты наступления критического события. Таким образом, планирование деятельности судов снабжения преследует цель обеспечения непрерывного функционирования технологических процессов на МБУ/платформе в течение максимального периода времени. В структуре «Планировщика» предусмотрен широкий набор инструментов настройки, что позволяет оценить влияние различных стратегий планирования на эффективность работы флота.

4. Пример расчета

В качестве примера спланирована работа двух альтернативных конфигураций флота для системы доставки грузов снабжения с береговой базы на ПБУ в регионе с ледовыми условиями в зимний период и существенной неравномерностью погоды в течение года. Каждая конфигурация включает два судна с классом ледовых усилений Icebreaker 7. Основной задачей расчета является сравнение эффективности различных вариантов флота, состоящих в первом случае из специализированных судов снабжения (PSV), а во втором – из снабженцев-завозчиков якорей (ANTS). Суда имеют одинаковое водоизмещение и мощность двигателя. Расстояние между базой снабжения и ПБУ принято равным 450 морских миль.

Основные параметры судов и ПБУ, необходимые для расчета, приведены в таблице 1. Под максимальной эксплуатационной скоростью и минимальной длительностью операции понимаются соответствующие значения, характерные для натурной практики при наиболее благоприятных погодных условиях.

При одинаковом водоизмещении судов снабженец-завозчик якорей имеет меньшую грузоподъемность и величину вместимости по различным грузам. Исключением являются объемы, предназначенные для топлива, что объясняется наличием на судне большого количества танков и цистерн двойного назначения. Данная особенность связана со спецификой судов данного типа.

В примере рассмотрены грузопотоки, включающие характерные виды снабжения: генеральные, порошковые и жидкие грузы.

Таблица 1

Параметры судов снабжения и ПБУ

Тип судна	PSV	АНТС	ПБУ
Водоизмещение, т	10000	10000	-
Мощность двигателя, кВт	13500	13500	-
Дедвейт, т	5300	3300	-
Макс. эксплуатационная скорость, уз	12	12	-
Полезная площадь палубы, м2	1100	700	1100
Вместимости, м3:			
- порошковые грузы	430	280	500
- топливо	1420	2650	2500
- вода	1100	800	2000
Грузоподъемность, т	5000	3000	-
Мин. длительность операции, ч:			
- погрузка в порту	25	21,5	-
- разгрузка и погрузка на ПБУ	47,2	41,6	-
- разгрузка в порту	14,3	13,2	-
- переход от порта до ПБУ	37,5	37,5	-

Характеристики и номенклатура перевозимых грузов приведены в таблице 2. Матрица совместимости (таблица 3) показывает наличие

или отсутствие возможности перевозки пары грузов в одном грузовом пространстве.

Таблица 2

Характеристики и номенклатура перевозимых грузов

Характеристики	Плотность, т/м3	Площадь, м2	Масса, т
Топливо	0,85	-	-
Вода	1	-	-
Порошковые грузы	2	-	-
Контейнер со снабжением	-	8,9	9
Контейнер с обратным грузом	-	8,9	3,4
Трубы	-	4,25	5,3

Таблица 3

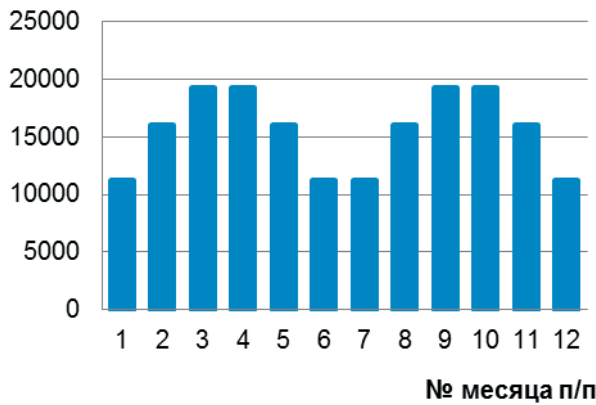
Матрица совместимости перевозимых грузов

	Топливо	Вода	Порошковые грузы	Контейнер со снабжением	Контейнер с обр. грузом	Трубы
Топливо		-	-	-	-	-
Вода	-		-	-	-	-
Порошковые грузы	-	-		-	-	-
Контейнер с грузом	-	-	-		+	+
Контейнер с обратным грузом	-	-	-	+		+
Трубы	-	-	-	+	+	

Принятые значения суммарных грузопотоков по направлениям с базы снабжения на ПБУ (прямой грузопоток) и с ПБУ на базу снабжения (обратный грузопоток) для каждого месяца

показаны на рис. 2. Они обладают значительной неравномерностью в течение года, что часто встречается в реальной практике и существенно влияет на эффективность работы флота.

Прямой грузопоток,



Обратный грузопоток, т

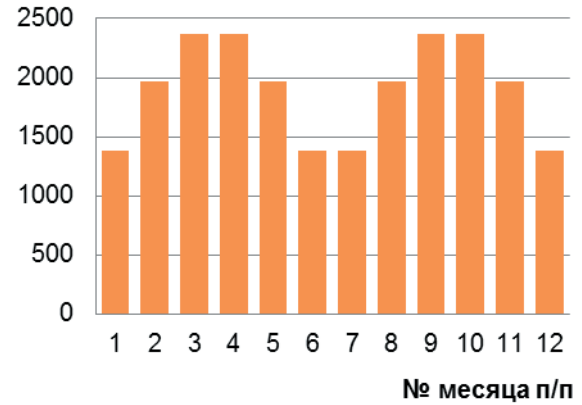


Рис. 2 Изменение расчетной величины суммарного грузопотока в течение года

Доли каждого груза от величины прямого и обратного грузопотоков приведены на соответствующих диаграммах на рис. 3. Неравномерность длительности грузовых операций и перехода от базы снабжения до ПБУ проиллюстрирована с помощью коэффициента k ,

изменение которого в течение года, для рассматриваемого примера, приведено на рис. 4. Данный коэффициент показывает отношение длительности операции в конкретном месяце к минимальному значению, приведенному в таблице 1.

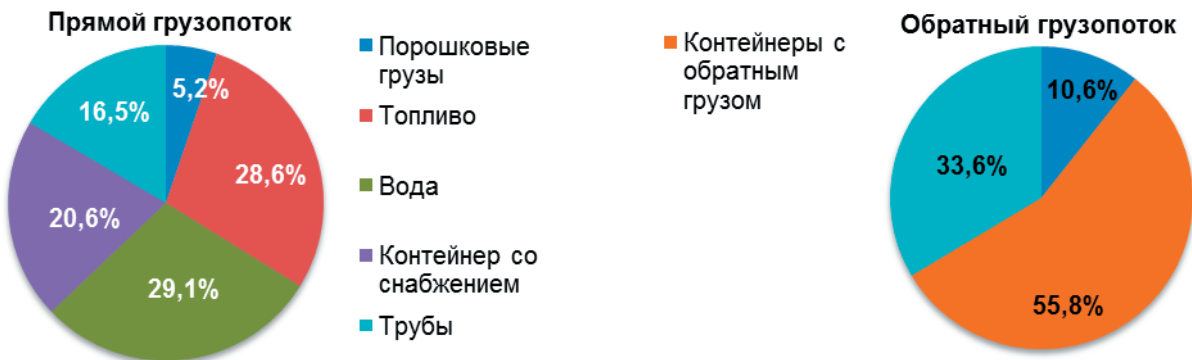


Рис. 3 Доли различных видов снабжения в составе прямого и обратного грузопотоков

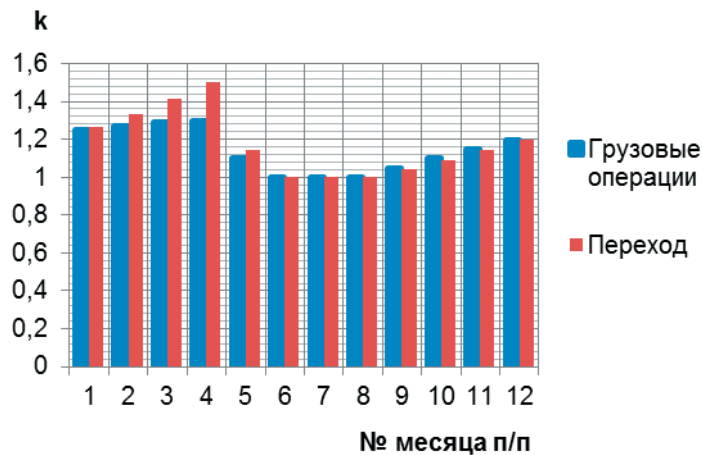


Рис. 4 Изменение значения коэффициента k для грузовых операций и перехода

Если произвести расчет месячной провозоспособности судна аналитически (таблица 4) можно прийти к выводу, что обе конфигурации флота обеспечивают требуемые грузопотоки. Максимальная масса грузов, перевозимых за месяц, составляет 19250 т, в то время как суда типа PSV и AHTS обеспечивают при наихудших условиях транспортировку 32000 т

и 20400 т в месяц соответственно. Однако в данном случае не учитываются многие важные особенности натурной практики. Среди них можно выделить в частности разделение грузов по типам и возможность их размещения на судне, динамику наполнения хранилища, которая, в свою очередь, зависит от распределения грузовых партий по рейсам.

Таблица 4

Аналитический расчет провозоспособности судна

Тип судна	PSV	AHTS
Макс. длительность кругового рейса за год, сут	9,4	8,8
Мин. провозоспособность судна в мес, т	16000	10200
Мин. провозоспособность двух судов в мес., т	32000	20400
Отношение расчетной провозоспособности к требуемой	1,66	1,06

Результатом работы рассматриваемого модуля является план рейсов с детализацией до отдельных операций для двух конфигураций флота на весь рассматриваемый период. Расчетный период для демонстративного примера принят равным одному календарному году. Обобщенные результаты планирования приведены в таблице 5. Фрагмент плана приведен на рис. 5. В отличие от результатов аналитического расчета, подробное

планирование рейсов показало неспособность флота, состоящего из снабженцев – завозчиков якорей обеспечить транспортировку необходимого количества грузов. Главной причиной этого является нехватка площади грузовой палубы для перевозки генеральных грузов. Увеличение её величины до 850 м2 без изменения остальных характеристик позволяет успешно завершить все рейсы.

Таблица 5

Обобщенные результаты планирования работы флота

Тип судна	PSV	AHTS
Выполнение полного объема перевозок	+	-
Критический груз	-	Контейнеры на ПБУ
Всего рейсов запланировано:		
Судно 1	47	9
Судно 2	46	9
Средний коэффициент загрузки судна по грузоподъемности	0,40	0,82

Данный пример показывает особую важность детального рассмотрения грузовых пространств судов, осуществляющих перевозку снабжения. Необходимость работы судов снабжения с множеством грузов не позволяет осуществлять подбор флота с ориентировкой только на провозоспособность, т.к. главенствующую роль

играет соответствие внутренних объемов судна и площадей предполагаемому грузопотоку. В расчетном примере рассмотрен только один год работы системы, в то время как реальные системы работают в течение десятилетий и могут обладать большей неравномерностью грузопотоков, как по составу, так и по количеству.

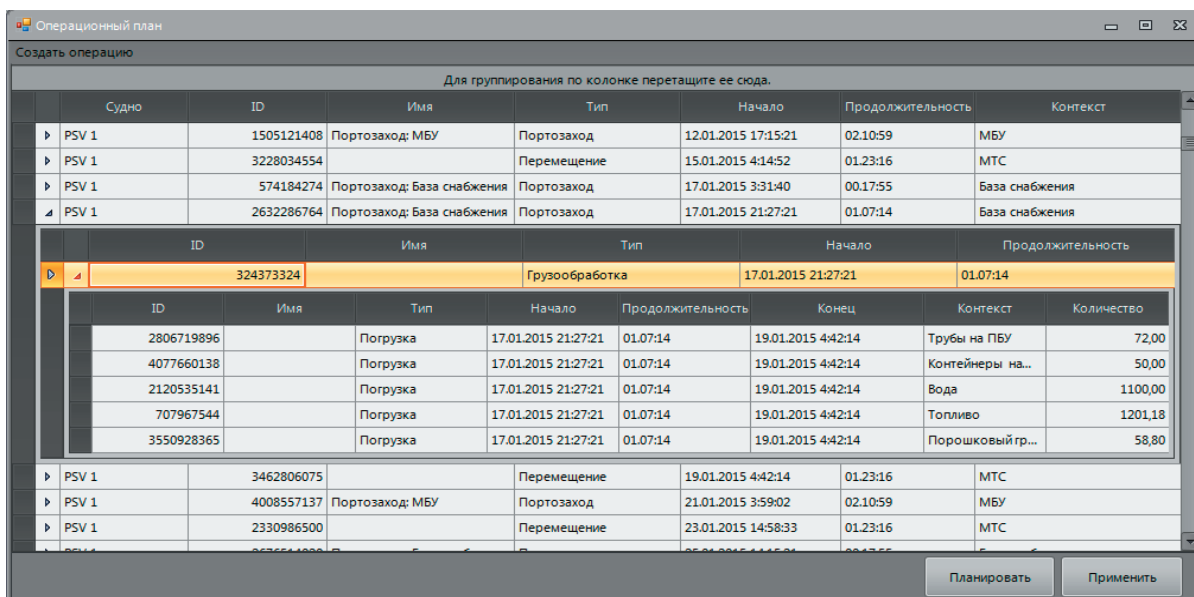


Рис. 5 Фрагмент стратегического плана работы флота

Именно поэтому суда снабжения на практике, в отличие от многих других типов судов, часто

имеют более низкие коэффициенты загрузки по грузоподъемности и суммарной вместимости.

Вариант флота, состоящий из судов PSV при текущей постановке задачи, не только успешно выполняет заданные объемы грузоперевозок, но и обладает существенным запасом объемов, площадей и грузоподъемности. Это позволит судну эффективно работать на значительно более загруженных линиях.

Рассмотренный пример наглядно демонстрирует преимущества использования судов снабжения для транспортировки грузов по сравнению со снабженцами завозчиками якорей. Если в составе транспортно-технологической системы уже присутствует завозчик якорей, в течение временных промежутков между буксировками целесообразнее использовать его

в качестве судна аварийно-спасательного дежурства, что часто применяется на практике.

Заключение

Разработанный программный модуль может быть использован как для планирования и оценки эффективности существующей конфигурации флота, так и для определения потребных характеристик и необходимого количества судов в проектируемой транспортной системе. Расписание рейсов, составленное «Планировщиком», может быть воспроизведено в динамической имитационной модели для оценки влияния стохастических факторов на работу системы

Литература

1. Aas B., Gribkovskaia I., Halskau O., Shlopak A. Routing of supply vessels to petroleum installations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 37 No. 2, 2007, pp. 164-179
2. Gribkovskaia I., Norlund E., Maisiuk Y. Routing and fleet sizing for offshore supply vessels. Presentation at ROUTE-2014 International Workshop on Vehicle Routing, Intermodal Transport and Related Areas, Technical University of Denmark, June 1-4, 2014.
3. Maisiuk I., Gribkovskaia I. Fleet Sizing for Offshore Supply Vessels with Stochastic Sailing and Service Times. 2nd International Conference on Information Technology and Quantitative Management, ITQM-2014, *Procedia Computer Science*, No 31, 2014, pp. 939 – 948
4. Бахарев А.А., Косоротов А.В., Крестьянцев А.Б., Таровик О.В., Топаж А.Г. Иерархия уровней принятия решений в имитационном моделировании морских перевозок. Седьмая всероссийская научно-практическая конференция "Имитационное моделирование. Теория и практика": Труды конф., 2015, с. 34-39.
5. Малыханов А.А., Черненко В.Е. Имитационное моделирование логистики снабжения арктических буровых платформ. Седьмая всероссийская научно-практическая конференция "Имитационное моделирование. Теория и практика": Труды конф., 2015, с. 210 – 213.
6. Таровик О.В., Бахарев А.А., Топаж А.Г., Косоротов А.В., Крестьянцев А.Б., Кондратенко А.А. Имитационная модель работы флота как инструмент анализа эксплуатационных параметров судов и обоснования проектных решений. Научно-технический сборник Российского Морского Регистра Судоходства, 2015, № 38/39, с. 46 – 52.

References

1. Aas B., Gribkovskaia I., Halskau O., Shlopak A. Routing of supply vessels to petroleum installations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 37 No. 2, 2007, pp. 164-179
2. Gribkovskaia I., Norlund E., Maisiuk Y. Routing and fleet sizing for offshore supply vessels. Presentation at ROUTE-2014 International Workshop on Vehicle Routing, Intermodal Transport and Related Areas, Technical University of Denmark, June 1-4, 2014.
3. Maisiuk I., Gribkovskaia I. Fleet Sizing for Offshore Supply Vessels with Stochastic Sailing and Service Times. 2nd International Conference on Information Technology and Quantitative Management, ITQM-2014, *Procedia Computer Science*, No 31, 2014, pp. 939 – 948
4. Bakharev A.A., Kosorotov A.V., Krest'yantsev A.B., Tarovik O.V., Topazh A.G. Ierarkhiya urovney prinyatiya resheniy v imitatsionnom modelirovanii morskikh perevozok. Sed'maya vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika": Trudy konf., 2015, s. 34-39.

5. Malykhanov A.A., Chernenko V.E. Imitatsionnoe modelirovanie logistiki snabzheniya arkticheskikh burovykh platform. Sed'maya vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika": Trudy konf., 2015, s. 210 – 213.
6. Tarovik O.V., Bakharev A.A., Topazh A.G., Kosorotov A.V., Krest'yantsev A.B., Kondratenko A.A. Imitatsionnaya model' raboty flota kak instrument analiza ekspluatatsionnykh parametrov sudov i obosnovaniya proektnykh resheniy. Nauchno-tehnicheskii sbornik Rossiyskogo Morskogo Registra Sudokhodstva, 2015, № 38/39, s. 46 – 52.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

УДК 536.24.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В ТРУБНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ГОФРИРОВАННЫМИ ЛЕНТОЧНЫМИ ВСТАВКАМИ С НАДРЕЗАМИ

Лакиза Максим Владимирович

аспирант кафедры судовых двигателей внутреннего сгорания и дизельных установок
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
1900121, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3
e-mail: lakiza-m@hiprom.ru

Аннотация

В работе представлены экспериментальные результаты интенсификации конвективного теплообмена в трубе, выполненные на экспериментальной установке компании Н-Пром Бюро и при поддержке компаний HTRI и Нева-Теплотехника. Экспериментальная установка предназначена для моделирования теплообменных процессов и имеет возможность исследования различных рабочих участков. Установка работает по замкнутому контуру рециркуляции теплоносителей.

Исследование коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления проводилось на экспериментальном стенде с использованием в качестве рабочего участка теплообменника типа "труба в трубе". Интенсифицирующие ленточные вставки находились в центральной трубе теплообменника, в качестве рабочего тела в которой применялось индустриальное масло или вода. В ходе эксперимента были исследованы 4 образца ленточного интенсификатора, отличающиеся друг от друга величиной относительного шага закрутки s/d и надрезов t/d .

В результате исследования была определена регрессионная математическая модель коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления с применением ленточных интенсификаторов.

Ключевые слова: Интенсификация теплообмена, ленточные интенсификаторы, коэффициент теплоотдачи, гидравлическое сопротивление, экспериментальная установка, судовые теплообменные аппараты, ламинарный режим, турбулентный режим.

HEAT TRANSFER ENHANSMENT IN TUBE SIDE BY CORRUGATED Ъ\ TWISTED TAPE WITH CUTS

Lakiza Maksim Vladimirovich

Graduate student of department of marine combustion engine and diesel plant
State marine technical university of Saint-Petersburg
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190121, Russian Federation
e-mail: lakiza-m@hiprom.ru

Abstract

The research study of the convective heat transfer intensification in a tube is carried out, test stand is developed by Hi-Prom Bureau with the participation of author and with the assistance of HTRI and Neva-Teplotechnika Co. Ltd. The test stand is intended for modeling of heatexchange processes and has a possibility of various test sections researching. The stand works on the closed path of heat-transfer fluid recirculation.

The research of the heat-transfer coefficient and hydraulic resistance was conducted at the experimental stand with test section "pipe-in-pipe". The twisted tape inserts were in the central pipe of the heat exchanger, industrial oil or water was applied as tube side fluid. During the experiment 4 samples of the twisted tape were tested differing twist ratio s/d and cuts ratio t/d have been investigated.

As a result of a research the regression mathematical model of the heat-transfer coefficient and hydraulic resistance with application of twisted tape has been defined.

Key words: Heat transfer enhancement, twisted tape, heat-transfer coefficient, hydraulic resistance, test stand, marine heat exchangers, laminar flow, turbulent flow.

Введение

Целью экспериментальной части исследования является определение регрессионной математической модели коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления с применением интенсификаторов. Исследование будет выполняться путем физического моделирования процесса в трубном пространстве рабочего участка на экспериментальном стенде при воссоздании условий рабочего процесса аналогичных реальным для судовых теплообменных аппаратов или являющихся подобными им. В результате данного экспериментального исследования будут получены критериальные уравнения для различных свойств теплоносителя и конструкций интенсификатора типа "профилированная лента".

2. Методика проведения экспериментальных исследований

Исследование коэффициентов теплообмена и гидравлического сопротивления проводилось на экспериментальном стенде с использованием в качестве рабочего участка теплообменника типа "труба в трубе". Интенсифицирующие вставки находились в центральной трубе теплообменника, в качестве рабочего тела в которой применялось индустриальное масло И-8а или вода. Подробная работа экспериментального стенда описана в работах [1-2]. Диапазон исследуемых чисел $Re = (0,8 - 2,6) \cdot 10^3$, $Pr = 148 - 155$ и $Re = (7 - 25) \cdot 10^3$, $Pr = 4,1 - 4,2$ для масла и воды соответственно.

Исследование выполнялось путем физического моделирования процесса в трубном пространстве рабочего участка на экспериментальном стенде при воссоздании условий рабочего процесса аналогичных реальным или являющихся подобными им.

Исследование проводились методом активного эксперимента. В ходе эксперимента были исследованы 4 образца ленточного интенсификатора, отличающиеся друг от друга величиной относительного шага закрутки s/d и надрезов t/d . Образцы изготавливались из предварительно профилированной ленты. Конечная длина всех образцов составляла 1 м. Полные характеристики исследуемых образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1
Конструктивные характеристики гофрированной ленты

N/ N	Ширина, мм	Толщина, мм	Шаг закрутки, мм	s/d	Шаг надреза, мм	t/d
1.	20	0,7	140	7	10	0,5
2.	20	0,7	250	12,5	10	0,5
3.	20	0,7	140	7	20	1
4.	20	0,7	250	12,5	20	1



Рис. 1. Интенсификаторы типа "гофрированная лента с надрезами": 1, 2, 3, 4 - номера образцов с конструктивными характеристиками из табл. 1.

3. Результаты экспериментальных исследований и их анализ

3.1. Ламинарный режим

Исследование коэффициентов теплообмена и гидравлического сопротивления в области ламинарного режима течения проводилось с использованием в качестве рабочего тела индустриального масла И-8а в трубном пространстве. Диапазон исследуемых чисел $Re = (0,8 - 2,6) \cdot 10^3$, $Pr = 148 - 155$.

В результате обработки экспериментальных данных были получены значения аналитических зависимостей для определения значений критерия Нуссельта и коэффициента гидравлического сопротивления при ламинарном режиме течения для представленных конструкций интенсификатора (погрешность вычислений составляет $\pm(15)\%$ с доверительной вероятностью 0,98):

$$Nu = 0,026Re^{0,62}Pr^{0,87} \left(\frac{t}{d} \right)^{-0,14} \left(\frac{s}{d} \right)^{-0,33} \quad (1)$$

$$\xi = 2,25 \cdot 10^6 \text{Re}^{-0,29} \text{Pr}^{-2,53} \left(\frac{t}{d}\right)^{-0,17} \left(\frac{s}{d}\right)^{-0,33} \quad (2)$$

$$\xi = 1,39 \cdot 10^{-4} \text{Re}^{-0,046} \text{Pr}^{5,39} \left(\frac{t}{d}\right)^{-0,16} \left(\frac{s}{d}\right)^{-0,012} \quad (2)$$

3.1. Турбулентный режим

Аналогичное исследование коэффициентов теплообмена и гидравлического сопротивления в области турбулентного режима течения проводилось с использованием в качестве рабочего тела воды в трубном пространстве. Диапазон исследуемых чисел $\text{Re} = (7 - 25) \cdot 10^3$, $\text{Pr} = 4,1 - 4,2$.

В результате обработки экспериментальных данных были получены значения аналитических зависимостей для определения значений критерия Нуссельта и коэффициента гидравлического сопротивления при турбулентном режиме течения для представленных конструкций интенсификатора (погрешность вычислений составляет $\pm(15)\%$ с доверительной вероятностью 0,98):

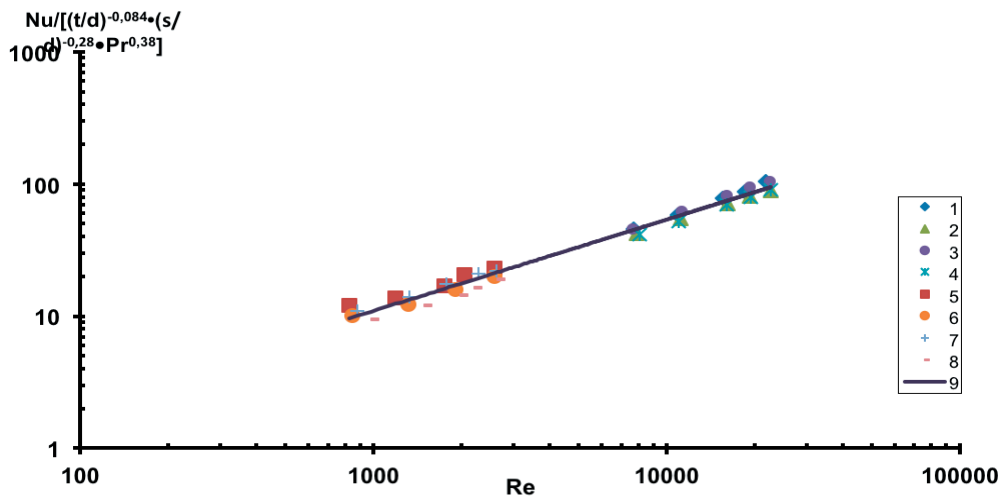
$$\text{Nu} = 0,026 \text{Re}^{0,76} \text{Pr}^{1,15} \left(\frac{t}{d}\right)^{-0,022} \left(\frac{s}{d}\right)^{-0,24} \quad (1)$$

3. Обобщение результатов исследования

Данные экспериментов различных конструкций интенсификатора, проведенных с использованием в качестве рабочего тела воды и масла, были обобщены в диапазоне значений $\text{Re} = (0,8 - 25) \cdot 10^3$. В результате обобщения экспериментальных исследований были получены аналитические зависимости для различных конструкций и свойств теплоносителей (погрешность вычислений составляет $\pm(20)\%$ с доверительной вероятностью 0,98):

$$\text{Nu} = 0,168 \text{Re}^{0,69} \text{Pr}^{0,38} \left(\frac{t}{d}\right)^{-0,084} \left(\frac{s}{d}\right)^{-0,28} \quad (1)$$

$$\xi = 1,77 \text{Re}^{-0,23} \text{Pr}^{0,061} \left(\frac{t}{d}\right)^{-0,16} \left(\frac{s}{d}\right)^{-0,049} \quad (2)$$



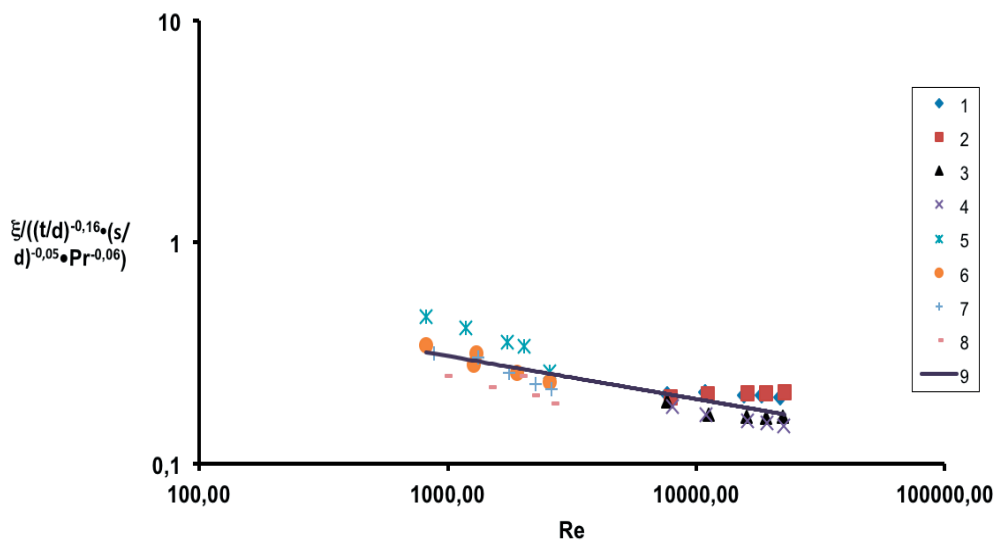


Рис. 2. Теплоотдача и гидравлическое сопротивление интенсификаторов образцов табл.1: 1,2,3,4 – вода; 5,6,7,8 – масло; 9 – расчет по (5) и (6).

Заключение

Используя полученные аналитические зависимости для различных свойств теплоносителя и конструкций представленного интенсификатора можно с высокой степенью точности произвести оценку увеличения теплоотдачи и потерь давле-

ния в трубном пространстве теплообменного аппарата. Таким образом, зная расчетные зависимости можно подобрать оптимальную конструкцию интенсификатора, максимально отвечающую требуемым параметрам процесса.

Литература

1. Лакиза М.В., Деменок С.Л., Медведев В.В. Интенсификация теплообмена в трубном пространстве судовых теплообменных аппаратов // Турбины и дизели № 5, 2013 – Санкт-Петербург: Изд-во ООО «Турбомашин» – С. 18-20.
2. Медведев В.В., Лакиза М.В. Интенсификация теплообмена в трубном пространстве и повышение надежности судовых теплообменных аппаратов // Судостроение №5, 2015 – Санкт-Петербург: Изд-во АО «Центр технологии судостроения и судоремонта» – С. 40-42.

References

1. Lakiza M.V., Demenok S.L., Medvedev V.V. Intensifikatsiya teploobmena v trubnom prostranstve sudovykh teploobmennykh apparatov, Turbiny i dizeli № 5, 2013, Sankt-Peterburg: Izd-vo ООО «Turbo-mashiny», s. 18-20.
2. Medvedev V.V., Lakiza M.V. Intensifikatsiya teploobmena v trubnom prostranstve i povyshenie nadezhnosti sudovykh teploobmennykh apparatov, Sudostroenie №5, 2015, Sankt-Peterburg: Izd-vo АО «Tsentr tekhnologii sudostroeniya i sudoremonta» s. 40-42.

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.431.74:621.431.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ДЕФОРМАЦИЮ ГОЛОВОК ПОРШНЕЙ СУДОВЫХ МА- ЛОБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Кулешов Игорь Игоревич

аспирант кафедры технологии и организации судоремонта
Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Морской Государственный Университет имени адмирала Г. И. Невельского
690003, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50а
e-mail: igor-igorevich.2011@bk.ru; тел: +7 (423) 251-54-59

Ходаковский Владимир Михайлович

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и организации судоремонта
Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Морской Государственный Университет имени адмирала Г. И. Невельского
690003, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50а
e-mail: khodpirm@mail.ru; тел: +7 (423) 251-54-59

Аннотация

В данной работе рассмотрена и предложена методика расчёта деформированного состояния головки поршня малооборотного судового дизеля, которая позволяет на этапе конструирования учитывать деформации не только от нагрева головки, но и от воздействия давления сгорания.

Определено, что общая деформация головки поршня от воздействия тепловых и механических нагрузок, приводит к деформации поршневых канавок, форма которых приобретает конусный характер с увеличением конуса от тела головки к периферии.

Деформация головки поршня от воздействия совместных нагрузок нарушает условия работы трибосопряжения «поршень-кольцо-втулка», что, в процессе работы, приводит к интенсивному износу верхней и нижней поверхностей поршневых канавок головок поршней.

Компьютерное моделирование условий работы головки поршня, выполненное в данной работе, подтверждается характером износа, который был определён путём определения технического состояния головок поршней судового МОД типа L35MC установленного на т/х «Святой Пётр».

В результате работы предложена методика для определения деформаций, возникающих в головке поршня судового малооборотного длинноходового дизеля от воздействия тепловых и механических нагрузок, которая позволяет на стадии проектирования ДВС учесть деформации головки поршня. Это позволит детально проработать конструкцию головки поршня. Данная методика может быть использована для анализа головок поршней как с опёртым днищем так и для головок других конструкций.

Ключевые слова: Деформация головки поршня малооборотного дизеля, тепловые и механические нагрузки, расчёт головки поршня методом конечных элементов, перемещения от действия нагрузок на поршневые канавки, поршневые канавки, компьютерное моделирование условий работы головки поршня, метод конечных элементов, малооборотный дизель.

INVESTIGATION OF THERMAL AND MECHANICAL CAPACITY ON DE- FORMATION OF PISTON'S CROWNS OF LOW SPEED PROPULSION MARINE DIESEL ENGINE

Kuleshov Igor Igorevich

postgraduate of ship repairs technology and organization department,
Federal transport agency
Federal budget educational institutional
Maritime State University named after G. I. Nevelskoy
St. Verkhneportovaya, 50a, Vladivostok, 690059, Russian Federation

e-mail: igor-igorevich.2011@bk.ru; tel: +7 (423) 251-54-59

Khodakovsky Vladimir Mikhailovich

Cand. Sci. Tech., associate professor, head of ship repairs technology and organization department,
Federal transport agency
Federal budget educational institutional
Maritime State University named after G. I. Nevelskoy
St. Verkhneportovaya, 50a, Vladivostok, 690059, Russian Federation
e-mail: khodprim@mail.ru, tel: +7 (423) 251-54-59

Abstract

In this article was discussed and proposed method of calculating the strained state of the piston crown of low speed propulsion marine diesel engine, which allows you to design stage to take into account not only the deformation of the piston crown heating, but also under the influence of combustion pressure.

It was determined that the overall deformation of the piston crown from the impact of heat and mechanical stress leads to deformation of piston grooves, tapered shape which acquires character with increasing taper from the periphery of the crown body.

Computer simulation of the working process of the piston crown, made in this article, confirmed the nature of wear and tear, which was determined by determining the technical condition of piston crowns of low speed propulsion marine diesel engine L35MC type installed on the m/v "Saint Peter".

As a result of this investigation is a method for determining the deformations arising in the crown of the piston marine low long-stroke diesel engine from the effects of thermal and mechanical loads that allows the internal combustion engine at the design stage to take into account the deformation of the piston crown. This will work out a detailed design of the piston crown. This method can be used to analyze both the piston crown with perch bottom and the other constructions of crowns.

Keywords: Deformation of piston crown of low speed propulsion marine diesel engine, thermal and mechanical loads, calculation of the piston crown by finite element method, displacement from the action of the piston grooves capacity, computer simulation of work process of the piston crown, a finite element method, low speed propulsion marine diesel engine.

Введение

Современные судовые малооборотные дизели (МОД) отличаются высокой степенью форсированности. Дизели с высокой степенью форсированности имеют более высокое значение среднего эффективное давление P_e [1]. По мере роста степени форсированности дизелей также увеличиваются как тепловые, так и механические нагрузки на детали поршневой группы. Более нагруженной деталью в высокофорсированных двигателях являются поршни, так как они воспринимают повышенные тепловые и механические нагрузки. Повышение температуры поршня обуславливает снижение прочности материала головки поршня.

Тепловая стойкость поршня обычно достигается:

- увеличением отвода тепла от днища в стенки цилиндров через корпус и поршневые кольца;
- увеличением отвода тепла (помимо колец) подачей жидкости к внутренним поверхностям головки поршня [2].

Под влиянием высоких температур и механических нагрузок, которые возникают в камере сгорания судового дизеля, изменяется форма головки поршня. Вследствие этого происходит нарушение контактирования рабочих поверхностей головки поршня и сопрягаемых деталей, в частности поршневых колец [3].

Считается, что в процессе работы у головок поршней местом, наиболее подверженном износу вследствие теплового расширения из-за неравномерного распределения температурных полей по телу головки, являются поршневые канавки (рис. 1, а), а именно верхняя и нижняя поверхности канавок [4, 5, 6]. Причём характер износа имеет форму конуса, ориентированную увеличением величины износа от тела головки к периферии (рис. 1, б).

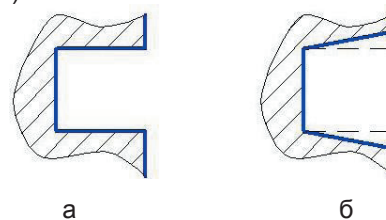


Рис. 1. Поршневая канавка номинального размера (а) и изношенная (б)

Существуют различные методики расчёта как головок поршней [2, 3, 7], так и поршневых канавок [8, 9]. Данные методики не учитывают одновременного влияния тепловых и механических нагрузок при условии, что тепловые нагрузки будут изменяться во времени. Анализ работ показал, что поршневое кольцо под действием сил перемещается в канавке в пределах рассчитан-

ных авторами величин иногда в противоход движению поршня до соударения с той или иной поверхностью канавки. Однако, применённое моделирование износа не учитывает в полной мере влияния тепловых деформаций материала головок поршней, а, следовательно, и поршневых канавок, что не даёт наиболее целостного представления о физике процесса изнашивания поршневой канавки.

С наибольшей силой к втулке цилиндра и канавке прижимается первое кольцо, оно же по этой причине, а также и в связи с наличием более высоких температур, и ухудшением условий смазки в зоне верхней мёртвой точки (ВМТ), имеет наибольшие износы [2]. Наибольшему износу подвержена нижняя опорная поверхность поршневой канавки, так как она испытывает наибольшие напряжения в процессе работы. Следовательно, износ верхней и нижней поверхности канавки происходит при разных величинах нагружений, результатом чего будет являться износ нижней поверхности в большей степени, верхней – в меньшей.

Следовательно, возникает необходимость определения поведения поршневых канавок и головок поршней в целом от совместных внешних воздействий, к которым можно отнести тепловые и механические.

1. Постановка задачи и методы исследования

Для определения поведения головки поршня в целом и поршневой канавки в частности от действия тепловых и механических нагрузок необходимо выполнить моделирование процесса комплексного нагружения головки поршня. Данная задача решалась методом конечных элементов (МКЭ) на примере головки поршня судового МОД типа L35MC. Конструкция данной головки поршня представляет поршень с опёртым днищем. Рассматриваемая конструкция является наиболее распространённой для современных длинноходовых МОД. Моделирование процесса нагружения головки поршня выполнялось следующим образом:

- проводилось построение твердотельной модели головки поршня с использованием программного комплекса [10];
- выбирались граничные условия;
- производилась разбивка модели на конечные элементы (КЭ). В качестве типа КЭ выбран тетраэдр;
- определялся наиболее приемлемый размер КЭ;
- проводился расчёт модели при постоянной нагрузке и различных температурных режимах;
- определялось влияние комплексных нагрузок на перемещение и форму поршневых канавок головок поршней.

2. Исследование влияния тепловых и механических нагрузок на деформацию головок поршней судовых МОД

Твердотельная модель головки поршня судового МОД типа L35MC формировалась в соответствии с рабочим чертежом детали (рис. 2).

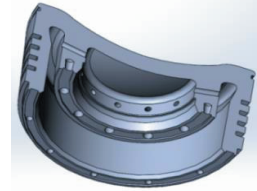


Рис. 2. Твердотельная модель головки поршня

Граничные условия выбирались следующим образом:

- модель была закреплена по радиальным плоскостям, имеющим резьбовые отверстия;
- результирующей силой, прижимающей поршневое кольцо к канавке, а также к стенке втулки цилиндра, является давление сгорания $P_i = P_z$, которое устанавливается в следующей последовательности: для первого кольца оно ориентировочно равно $0,75 P_i$, для второго – $0,20 P_i$ и для третьего – $0,08 P_i$ [2]. Давление сгорания для рассматриваемого двигателя составляет 12,5 МПа, следовательно, давления на головку поршня устанавливались в следующей последовательности:

- давление да днище: $P_i = 12,5$ МПа;
- давление на нижние поверхности канавок: первая канавка: $0,75 P_i = 9,375$ МПа; вторая канавка: $0,20 P_i = 2,5$ МПа; третья канавка: $0,08 P_i = 1$ МПа; четвёртая канавка: принято $0,5$ МПа.
- распределение температуры в головке поршня выполнялось в соответствии с [5, 7, 11].

Схема установки температур приведена на рис. 3.

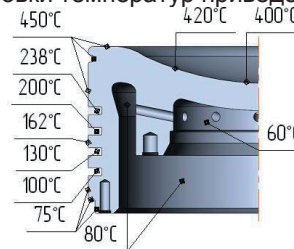


Рис. 3. Распределение температур головки поршня

Разбивка модели на конечные элементы проводилась в ручном управляемом режиме с высоким качеством эпюры сетки.

Необходимость индивидуального подбора размера КЭ обуславливается отсутствием конкретно параметра размера КЭ. Анализ методик, основанных на расчёте МКЭ [3, 11, 12, 13, 14, 15], показал, что для выполнения расчётов данным методом требуется индивидуальный подбор размера КЭ. Для того, чтобы определить приемлемый размер КЭ проводилась разбивка модели на

сетку КЭ, размеры которых варьировались от 2 до 40 мм. Общий вид конечноэлементной сетки (для размера 10 мм) показан на рис. 4.



Рис. 4. Общий вид конечно-элементной сетки

Нужно понимать, что размер КЭ не должен превышать толщину модели в наибольшей её части (рис. 5), так как в данном случае разбивка модели будет считаться некорректной.

Можно сделать предположение, что для того, чтобы расчёт был наиболее корректным, следует выбирать КЭ с размером, сопоставимым с размером наименьшей значимой части модели, участвующей в процессе расчёта и испытывающей значительные нагрузки. Значительные результаты в области применения метода КЭ в области расчёта конструкций приведены в работах [12, 13, 14]. В данных работах приводятся данные, что выбирая размер КЭ, следует, также, руководствоваться размером нагруженного элемента рассчитываемого объекта, что совпадает со сделанным предположением. Также для выбора размера КЭ следует учитывать погрешность (ϵ), связанную с дискретизацией сетки КЭ. В работе [14] при расчёте головок поршней с опёртым днищем в качестве размера КЭ принят размер, равный трети ширины перемычки поршневой канавки, следовательно, далее будет принята та же закономерность. Важным является и то, что погрешность уменьшается с уменьшением размера КЭ, однако, в данном случае время решения задачи будет стремиться к бесконечности [16]. Также при уменьшении размера КЭ менее 0,5 мм происходит превышение предела текучести материала детали, что даёт возможность судить о том, что уменьшать размер КЭ будет нецелесообразно.

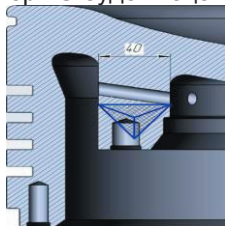


Рис. 5. Сопоставление максимального размера КЭ с наибольшей частью модели

В данной работе в дальнейшем исследуется влияние выбранных внешних воздействий на поршневые канавки головок поршней судового МОД, следовательно, наиболее значимым и имеющим наименьший размер (в данном случае

толщину) будет иметь перемычка между канавками. Толщина перемычки (H) составляет 12 мм.

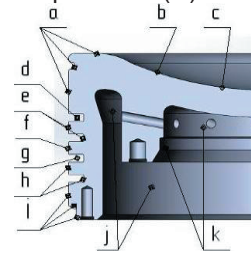


Рис. 6. Точки приложения температуры

В соответствии с [16] примем допускаемую погрешность (ϵ) равную 10%.

Таким образом зависимость для расчёта размера стороны КЭ (h) при выполнении расчётов на прочность методом КЭ головок поршней будет иметь следующий вид:

$$h = \frac{H}{3} - \frac{H}{3} \cdot \epsilon \quad (1)$$

В качестве приемлемого размера КЭ принят параметр, равный 4 мм.

С целью подтверждения того, что деформации головки поршня зависят от размера конечно-элементного элемента был выполнен корреляционный анализ. Анализ показал, что коэффициент корреляции между размером КЭ и деформациями головки поршня равен 0,943, коэффициент детерминации равен 0,889. Линейная связь считается статистически значимой, так как рассчитанный критерий Фишера ($F_{рас} = 40,04$) больше табличного ($F_{табл} = 6,61$). Средняя абсолютная ошибка аппроксимации равна 0,88 %.

Расчёт модели при постоянной нагрузке и различных температурных режимах проводился с целью определения поведения головки поршня, а, в частности, поршневых канавок и перемычек от совместного воздействия нагрузок. Для этого модель с принятым разбиением на сетку с размером КЭ 4 мм была нагружена давлением P_z , одинаковым для разных температурных режимов. Также к модели прикладывалась различная температура в точках, указанных на рис. 6.

Исследовались деформации поршневых канавок головки поршня судового МОД типа L35MC от изменения температуры. Изменением температуры имитировались различные условия работы головки поршня, такие как:

- работа в условиях пониженных температур (опыт №1);
- работа при номинальных параметрах рабочих сред (опыт №2);
- работа в условиях различных степеней перегрева (опыты с №3-№8).

Параметры заданных температур приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения температур в выбранных точках

№ опыта	Температура в точке, °С										
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
1.	400	420	380	218	180	142	110	90	75	70	60
2.	420	450	400	238	200	162	130	100	75	80	60
3.	440	470	420	258	220	182	140	110	95	85	60
4.	460	490	440	278	230	192	150	120	95	85	60
5.	480	510	460	298	240	212	160	130	100	90	60
6.	500	530	480	318	270	232	170	140	100	90	60
7.	520	550	500	338	290	252	180	150	105	95	60
8.	550	570	520	358	310	272	190	160	105	95	60

После приложения температур для каждого опыта определялись деформации головки поршня. Контролируемым параметром деформаций было перемещение участков модели в определённых точках. В данной работе контролировалось смещение поршневых канавок и перемычек головок поршней от их номинального положения под действием температурных напряжений в совокупности с действием давления сгорания P_z .

Определение влияния комплексных нагрузок на величину деформации и форму поршневых канавок головок поршней выполнялось в следующей последовательности:

- аналитическое определение зависимости деформаций от комплексного нагружения;
- математический анализ зависимости деформаций от комплексного нагружения;
- графическая интерпретация полученных в работе данных.

Объектом аналитического определения зависимости деформаций головки поршня от комплексного нагружения выбрана первая поршневая канавка, так как данная канавка работает в наиболее тяжёлых условиях и имеет наибольшие величины деформаций. В качестве контролируемых параметров выбраны следующие: деформация верхней поверхности первой поршневой канавки по вертикали – δ_2^i , мм и температура, прикладываемая к данной канавке – d , °С. Зависимость деформаций δ_2^i от температуры (d) приведена на рис. 7.

Как видно из полученного графика (рис. 7), зависимость между деформациями верхней поверхности первой поршневой канавки головки поршня в зависимости от увеличения температуры при постоянном значении давления имеет линейный характер. Необходимо учитывать тот факт, что увеличение температуры до бесконечности невозможно. При увеличении температуры выше 600 °С напряжения, возникающие в головке поршня, превышали предел текучести материала. При данном расчёте предел текучести превышен не был. Коэффициент запаса прочности был равен 2,1.

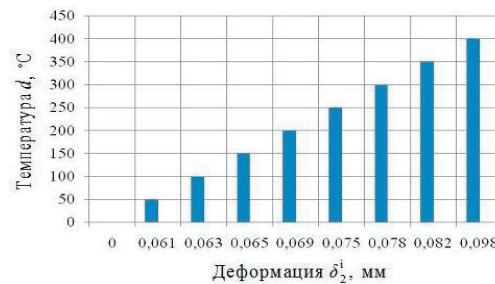


Рис. 7. График зависимости перемещений (δ_2^i) от температуры (d)

Математический анализ зависимости деформаций от комплексного нагружения проводился при помощи метода парной корреляции между

деформациями δ_2^i и температурой d . Анализ показал, что коэффициент корреляции между деформациями и температурой равен 0,981, коэффициент детерминации равен 0,963. Линейная связь считается статистически значимой, так как рассчитанный критерий Фишера ($F_{рас} = 129,9$) больше табличного ($F_{табл} = 6,61$). Средняя абсолютная ошибка аппроксимации равна 0,90 %. Исходя из расчётов, можно заключить, что де-

формации выбранного участка модели δ_2^i имеют линейную зависимость от температуры d .

Графическая интерпретация полученной зависимости выполнялась на основании полученных в данной работе данных. Полученная зависимость представлена на рис. 9. Качественное изображение деформированного состояния головки поршня показано на рис. 8 (масштабный коэффициент равен 100).

На рис. 9 приведены результаты расчёта перемещений поршневых канавок головки поршня от действия температурного поля и давления. Выполненный график свидетельствует о том, что поршневые канавки вследствие температурных и механических воздействий подвержены воздействию изгибающих моментов и тепловых расширений. Изгибающие моменты от действия давления газов смещают канавки по оси y , в то время

как воздействие температур даёт тепловые расширения канавок, а, следовательно, и перемещения поверхностей канавок по оси x и y в совокупности.

При рассмотрении температурных напряжений в части цилиндрической стенки (участок головки поршня с поршневыми канавками) можно заключить, что механизм их образования сводится к тому, что периферийная часть доньшка головки поршня как самая нагретая его часть значительно смещается в сторону от центра, создавая тем самым изгибные температурные напряжения. Поскольку температурное поле стенки от первого кольца и ниже является равномерным, то

действие температурного изгибающего момента постепенно затухает от первой кольцевой канавки до края поршня. Это подтверждается данными, которые показывают, что температурные напряжения как на внешней, так и на внутренней поверхности стенки затухают по мере приближения к краю поршня [14].

Следовательно, преимущественная роль в механизме образования температурных и механических напряжений в стенке принадлежит тепловому периферийной части доньшка головки поршня.

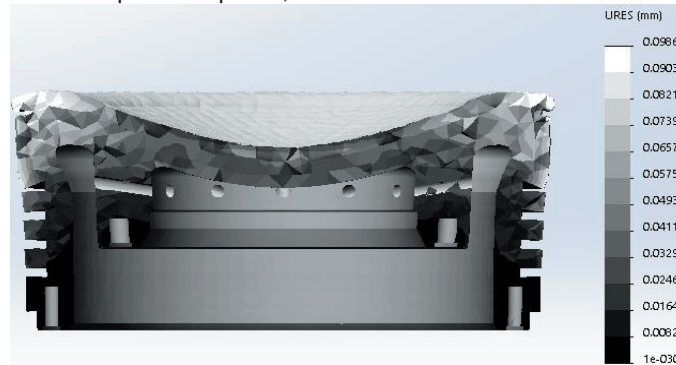


Рис. 8. Качественное изображение деформаций головки поршня от совместных тепловых и механических нагрузок

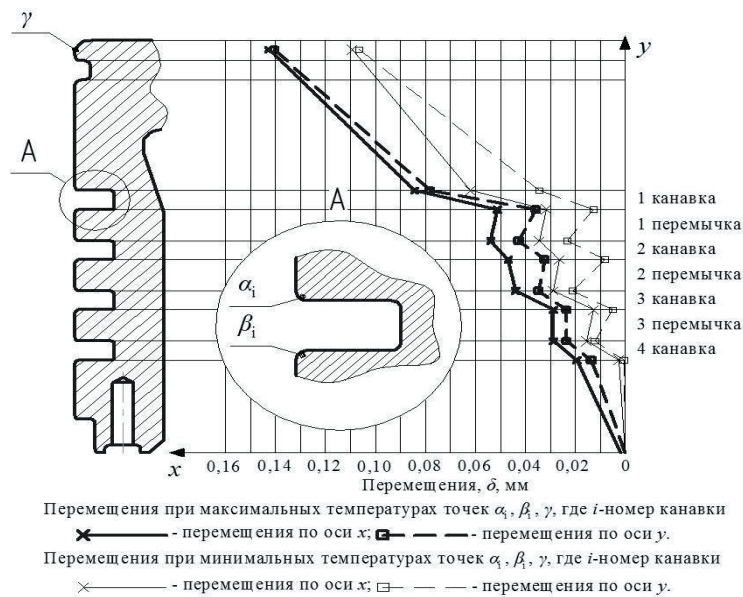


Рис. 9. Распределение перемещений поршневых канавок головки поршня дизеля типа L35MC от воздействия температурного поля и давления

3. Обсуждение основных результатов

Наиболее подверженной износу частью головки поршня судового МОД являются опорные поверхности поршневых канавок. Принято считать, что при работе дизеля поршневая канавка имеет износ в виде конуса верхней и нижней поверхности вследствие того, что поршневое кольцо под действием давления газов приобретает опроки-

дывающий момент. Опорой для кольца служит торец нижней поверхности поршневой канавки. Следствием такого вида работы сопряжения «кольцо-поршень» является износ поршневой канавки по высоте на 0,01 мм за 1 тыс. ч. работы [5]. Однако, анализируя полученные в данной работе результаты, можно сделать вывод, что износ поршневых канавок «под конус» будет происходить не только вследствие того, что кольцо изгибается по радиальной ширине и опирается на

торец нижней поверхности канавки, но и вследствие того, что канавка от действия тепловых и механических напряжений сужается в направлении от тела поршня к периферии также «под конус». Вид поршневой канавки от действия тепловых и механических напряжений, а также положение поршневого кольца представлен на рис. 11. Следовательно, износ нижней и верхней поверхностей поршневой канавки головки поршня будет иметь большие значения вследствие малой величины опоры поршневого кольца. Также напряжения в торцах перемычек поршневых канавок будут иметь достаточно большие значения.

В процессе выполнения работы определено, что нижняя поверхность поршневой канавки работает в тяжёлых условия, так как поршневое кольцо, при относительном изгибе от действия газов, оказывает воздействие в основном на торцевую часть канавки. Следствием этого будет являться:

- коксование масла в закольцевом пространстве канавки с залеганием скоксовавшегося масла на уменьшение в направлении от основания канавки к периферии;

- износ нижней поверхности поршневой канавки.

Коксование масла в закольцевом пространстве «под конус» с уменьшением в направлении от тела канавки к периферии обуславливается как конусной формой канавки при работе дизеля, так и тем, что поршневое кольцо не плотно прижато к нижней поверхности канавки. Характер процесса коксования приведён на рис. 12.

Из-за того, что поршневая канавка в процессе работ покрывается масляными отложениями, износ нижней поверхности будет уменьшаться в районе тела головки и более активно развиваться у периферии канавки, так как контакт будет проходить не по материалу головки, а по масляным отложениям.

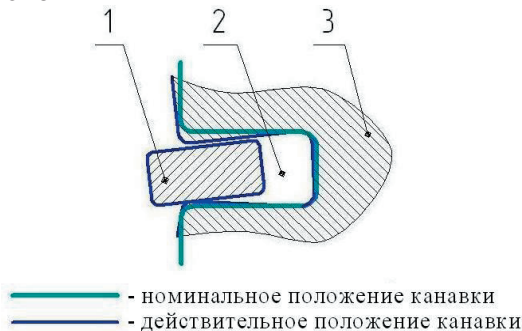


Рис. 11. Изменение формы поршневой канавки от тепловых и механических напряжений:
1 – поршневое кольцо; 2 – поршневая канавка; 3 – головка поршня

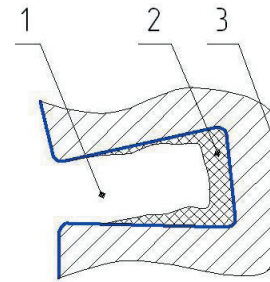


Рис. 12. Поршневая канавка с масляными отложениями:

1 – поршневая канавка; 2 – масляные отложения; 3 – головка поршня

Также стоит учесть ситуацию, при которой происходит активная закоксовка основания канавки из-за некорректной регулировки топливной аппаратуры и системы смазки цилиндров. В результате таких условий, поршневая канавка в процессе работы будет приобретать своего рода ступенчатый наработок на нижней поверхности (рис. 13).

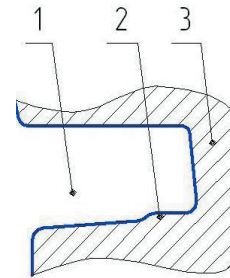


Рис. 13. Форма изношенной поршневой канавки:
1 – поршневая канавка; 2 – ступенчатый наработок; 3 – головка поршня

Важно понимать, что данный вид износа будет характерен, в основном, для поршневых канавок первого и второго поршневого кольца, так как данные конструктивные элементы испытывают наиболее высокие нагрузки в сравнении с остальными канавками. Также вид ступенчатый вид износа (рис. 13) будет появляться и вследствие износа поршневого кольца по ширине в сечении.

Для того, чтобы подтвердить состоятельность предложенной в данной работе модели поршневой канавки были выполнены обмеры головок поршней судового МОД типа L35MC, установленного на т/х «Святой Пётр». Данный МОД имеет восемь цилиндров. Износ канавок под поршневые кольца анализировался применительно к шести головкам поршней, имеющих равную наработку в количестве 9948 ч. При выполнении обмеров были получены данные, приведённые в табл. 3. Установочный зазор для данных канавок с новыми поршневыми кольцами составляет 0,3...0,35 мм. Номинальный размер канавки: 8 + 0,240; + 0,215 мм. Замеры выполнялись в двух точках. Размер в ячейке – замер у основания канавки, размер в скобках – замер на периферии канавки. Схема выполнения замеров приведена на рис. 14.

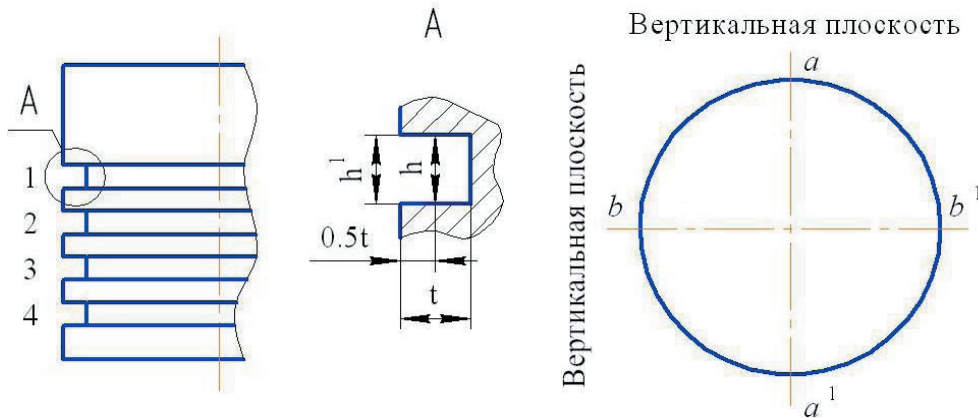


Рис. 14. Схема выполнения замеров:

h – высота канавки на длине 0,5t; h1–высота канавки на периферии (размер в скобке)

Таблица 3

Результаты обмеров

№ поршня	№ канавки	Величина износа канавки, мм			
		Вертикальная плоскость		Горизонтальная плоскость	
		a	a1	b	b1
1.	1	8,60 (8,65)	8,58 (8,60)	8,55 (8,65)	8,60 (8,65)
	2	8,55 (8,60)	8,55 (8,57)	8,57 (8,62)	8,55 (8,60)
	3	8,23 (8,50)	8,24 (8,45)	8,30 (8,45)	8,33 (8,45)
	4	8,23 (8,41)	8,23 (8,40)	8,23 (8,42)	8,23 (8,40)
2.	1	8,50 (8,60)	8,55 (8,63)	8,50 (8,57)	8,54 (8,55)
	2	8,43 (8,58)	8,40 (8,55)	8,40 (8,55)	8,37 (8,60)
	3	8,33 (8,50)	8,30 (8,45)	8,30 (8,46)	8,33 (8,45)
	4	8,25 (8,45)	8,27 (8,45)	8,23 (8,40)	8,23 (8,35)
3.	1	8,62 (8,67)	8,60 (8,65)	8,58 (8,70)	8,55 (8,65)
	2	8,50 (10,60)	8,47 (9,65)	8,55 (9,80)	8,56 (9,70)
	3	8,30 (8,35)	8,32 (8,35)	8,30 (8,50)	8,25 (8,50)
	4	8,25 (8,35)	8,23 (8,40)	8,23 (8,50)	8,25 (8,45)
4.	1	8,48 (8,75)	8,45 (8,70)	8,51 (8,80)	8,51 (8,70)
	2	8,44 (8,60)	8,40 (8,65)	8,43 (8,65)	8,40 (8,65)
	3	8,30 (8,45)	8,33 (8,40)	8,30 (8,40)	8,27 (8,42)
	4	8,23 (8,35)	8,23 (8,30)	8,23 (8,40)	8,23 (8,37)
5.	1	8,50 (8,68)	8,54 (8,65)	8,58 (8,67)	8,60 (8,60)
	2	8,45 (8,50)	8,40 (8,50)	8,39 (8,45)	8,35 (8,45)
	3	8,25 (8,45)	8,27 (8,40)	8,26 (8,40)	8,20 (8,37)
	4	8,25 (8,35)	8,23 (8,40)	8,25 (8,40)	8,23 (8,40)
6.	1	8,55 (8,75)	8,54 (8,70)	8,58 (8,70)	8,55 (8,67)
	2	8,49 (9,55)	8,45 (9,50)	8,45 (9,30)	8,40 (9,20)
	3	8,45 (8,50)	8,43 (8,55)	8,40 (8,45)	8,35 (8,40)
	4	8,25 (8,35)	8,23 (8,35)	8,25 (8,30)	8,23 (8,35)

Как видно из обмеров, наиболее интенсивно износу подвержены первая и вторая поршневые канавки. Все канавки в процессе работы при-

обретают характерный конус, который увеличивается от тела поршня к периферии (рис. 1. б). Важно отметить, что канавки поршней при про-

верке были закоксованы, причём залегания имели очень твёрдую структуру. Вторые канавки головок поршней № 6 и №3 имели повышенные износ на периферии перемычек, а также ступенчатый наработок (рис. 13), который оканчивался на длине ~1/2 от основания канавки; также эти канавки имели наибольшую закоксованность.

При выполнении обмеров головок поршней судового дизеля типа L35MC было обнаружено, что головки работали в условиях перегрева, так как днище поршня было покрыто слоем нагара, толщина которого достигала 2,5 мм, также имелись отложения остаточной щёлочи от использования масла с содержанием последнего элемента. Поршневые канавки также были закоксованы в основании, верхняя и нижняя поверхности канавок также имели значительные отложения, толщина которых достигала 0,5 мм у основания канавки и 0,05 мм у периферии. Соответственно

образовывался своего рода конусный уступ в канавке. Также подтверждением того, что головки работали при значительном перегреве является и то, что на внутренней охлаждаемой части днища головки в месте подачи охлаждающего масла имеются следы побежалости масла (кольцо по периферии внутреннего радиуса днища от центра к подпору днища толщиной 20 мм). В этой связи в работе был выполнен расчёт головки поршня в условиях перегрева.

Предположение о том, что кольцо в канавке работает с перекосом, т. е. имеет изгиб по радиальной ширине в направлении от тела головки к периферии подтвердилось тем, что на нижней опорной поверхности поршневого кольца имеется кольцевая впадина, которая наиболее выражена у первого кольца (0,3 мм) и у второго кольца (0,1 мм) и находится в месте пересечения данной впадины и торцевой поверхности перемычки.

Выводы

1. Тепловые и механические нагрузки головки поршня приводят к остаточной деформации головки поршня. Общая деформация головки поршня приводит к деформации поршневых канавок, форма которых приобретает конусный характер с увеличением конуса от тела головки к периферии.

2. Деформации головки поршня от воздействия совместных нагрузок нарушают условия работы трибосопряжения «поршень-кольцо-втулка», что, в процессе работы, приводит к интенсивному износу верхней и нижней поверхностей поршневых канавок головок поршней.

3. Компьютерное моделирование условий работы головки поршня, выполненное в данной работе, подтверждается характером износа, который был определён путём определения технического состояния головок поршней судового МОД типа L35MC установленного на т/х «Святой Пётр».

4. В результате работы выполнен анализ деформаций, возникающих в головке поршня судового малооборотного длинноходового дизеля от воздействия тепловых и механических нагрузок, который позволяет на стадии проектирования ДВС учесть деформации головки поршня. Это позволит детально проработать конструкцию головок поршней как с опёртым днищем так и для головок других конструкций.

Литератуза

1. Рогалева В. В., Чернявский О. А. Эволюция материалов ответственных компонентов малооборотных судовых дизелей // Вестник Брянского государственного технического университета №. – 2015. – Т. 4. – с. 48.
2. Орлин А. С. и др. Двигатели внутреннего сгорания. – 1957.
3. Тарасов М. И. Компьютерное моделирование погрешности расчёта тепловой деформации головки поршня в зависимости от размера конечных элементов // Сборник докладов 63-й международной молодёжной научно-технической конференции «Молодёжь. Наука. Инновации». – 2015. – Т. 1. – с. 61-64.
4. Кривошеков В. Е., Фадеев В. И. Восстановление изношенных деталей судовых дизелей // Обзор зарубежного опыта фирмы DMI/BE Кривошеков, ВИ Фадеев.-М.: Транспорт. – 1994.
5. Возницкий И.В. Двигатели модельного ряда МС 50-98. Конструкция, эксплуатация и техническое обслуживание. / И. В. Возницкий. – СПб.: Моркнига, 2008. – 260 с.
6. Марьин Д. М., Хохлов А. Л., Глущенко А. А. Теоретическое обоснование снижения износа деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» // Вестник ульяновской государственной сельскохозяйственной академии имени П. А. Столыпина. – 2015. – №4 (32). – с. 178-182.
7. Ваншейдт В. А. Конструирование и расчёты прочности судовых дизелей //Л.: Судостроение. – 1969.
8. Загайко С. А. Имитационное моделирование изнашивания поршневого кольца двигателя внутреннего сгорания // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2008. – Т. 11. – №. 2.
9. Борисов А. О., Загайко С. А. Моделирование изнашивания поршневого кольца двигателей внутреннего сгорания // Ползуновский вестник. – 2006. – №. 4. – С. 27-31.
10. ПО Solid works 2016. Лицензия № 9710-0044-1186-4231, правообладатель ФГБОУ ВО МГУ им. адм. Г. И. Невельского.
11. Возницкий И. В. Рабочие процессы судовых дизелей. / И. В. Возницкий, С. В. Камкин, В. П. Шмельёв. – Москва: Транспорт, 1979. – 208 с.
12. Кузьмин Н. А., Донато И. О. Выбор граничных условий для моделирования теплонапряженности деталей машин // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. – 2011. – №1 (86). – с. 138-147.
13. Лагерев И. А. Влияние размера конечного элемента на точность статического расчёта несущей металлоконструкции мостового крана // Наука и современность. – 2014. – №. 32-2. – с. 36-40.
14. Лагерев И.А. Расчёты грузоподъемных машин методом конечных элементов: монография / И.А. Лагерев. – Брянск: Изд-во БГТУ, 2013. – 116 с.
15. Дьяченко Н. Х. Конструирование и расчёт двигателей внутреннего сгорания: Учебник для вузов / Н. Х. Дьяченко, Б. А. Харитонов, В. М. Петров и др.; под ред. Н. Х. Дьяченко. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 392 с.
16. Петров М. В. Определение оптимального размера конечного элемента. Интернет ресурс. – Режим доступа : <http://cae-cube.ru/opredeleniye-optimalnogo-razmera-konechnogo-elementa.html> (дата обращения 10.12.16).

References

1. Rogalev V. V., Chernyavskiy O. A. Evolyutsiya materialov otvetstvennykh komponentov malooborotnykh sudovykh dizeley. Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, № 4 (2015): 48.
2. Orlin A. S. i dr. Dvigateli vnutrennego sgoraniya (1957).
3. Tarasov M. I. Komp'yuternoe modelirovanie pogreshnosti rascheta teplovoy deformatsii golovki porshnya v zavisimosti ot razmera konechnykh elementov. Sbornik dokladov 63 mejdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferencii "Molodej. Nauka. Innovacii". (1) (2015): 61-64.
4. Krivoshchekov V. E., Fadeev V. I. Vosstanovlenie iznoshennykh detaley sudovykh dizeley. Obzor zarubezhnogo opyta firmy DMI. M.: Transport, 1994.
5. Voznitskiy I.V. Dvigateli model'nogo ryada MS 50-98. Konstruktsiya, ekspluatatsiya i tekhnicheskoe obsluzhivanie.. SPb.:Morkniga, 2008.
6. Mar'in D. M., Khokhlov A. L., Glushchenko A. A. Teoreticheskoe obosnovanie snizheniya iznosa detaley sopryazheniya "porshnevaya kanavka – porshnevoe kol'tso". Vestnik ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii imeni P. A. Stolypina 4 (32) (2015).
7. Vansheydt V. A. Konstruirovaniye i raschety prochnosti sudovykh dizeley. (1969).
8. Zagayko S. A. Imitatsionnoye modelirovaniye iznashivaniya porshnevoego kol'tsa dvigatelya vnutrennego sgoraniya. Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta, 11.2 (2008).

9. Borisov A. O., Zagayko S. A. Modelirovanie iznashivaniya porshneвого kol'tsa dvigateley vnutrennego sgoraniya. Polzunovskiy vestnik 4 (2006): 27-31.
10. PO Solid works 2016. Litsenziya № 9710-0044-1186-4231, pravoobladatel' FGBOU VO MGU im. adm. G. I. Nevel'skogo.
11. Voznitskiy I. V. Rabochie protsessy sudovykh dizeley. I. V. Voznitskiy, S. V. Kamkin, V. P. Shmelev. (1979).
12. Kuz'min N. A., Donato I. O. Vybor granichnykh usloviy dlya modelirovaniya teplonapryazhennosti detaley mashin. Trudy Nizhegorodskogo tekhnicheskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R. E. Alekseeva. 1 (86) (2011): 138-147.
13. Lagerev I. A. Vliyanie razmera konechnogo elementa na tochnost' staticheskogo rascheta nesushchey metallokonstruktsii mostovogo krana. Science and modern Nauka i sovremennost' 32-2 (2014): 36-40.
14. Lagerev I.A. Raschety gruzopod"emnykh mashin metodom konechnykh elementov: monografiya. (2013).
15. D'yachenko N. Kh. Konstruirovaniye i raschet dvigateley vnutrennego sgoraniya: Uchebnik dlya vuzov. (1979).
16. Petrov M. V. Opredeleniye optimal'nogo razmera konechnogo elementa. Internet resurs. – Rezhim dostupa : <http://cae-cube.ru/opredeleniye-optimalnogo-razmera-konechnogo-elementa.html> (data obrashcheniya 10.12.16).

ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ КОРАБЛЯ, ОКЕАНА, АТМОСФЕРЫ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

УДК 534.23

ДИССИПАЦИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА

Легуша Фёдор Фёдорович

доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3
e-mail: legusha@smtu.ru

Олейник Мария Михайловна

старший преподаватель кафедры физики
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3
e-mail: astah.mar@yandex.ru

Ткаченко Игорь Вячеславович

доктор технических наук, профессор РАН, заведующий кафедрой гидроаэромеханики
и морской акустики
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3
e-mail: igor.v.tkachenko@mail.ru

Чижов Георгий Витальевич

инженер центра гибридного инжиниринга
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3
e-mail: gohak4@gmail.ru

Иляков Владислав Андреевич

магистр, магистерская программа 03.04.02.0.01 «физическая и техническая акустика»
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3

Аннотация

В статье разработана методика расчёта коэффициента поглощения плоской поверхностью жидкого полупространства, на которой сформировался акустический пограничный слой (АПС). При этом предполагается, что плоская гармоническая звуковая волна, распространяющаяся в полупространстве, заполненном газом, падает на поверхность жидкого полупространства под произвольным углом падения θ .

В качестве примера в работе представлены расчёты угловых зависимостей коэффициента поглощения звука для границ раздела воздух-вода и воздух-керосин. На таких границах наблюдается явление полного внутреннего отражения звуковой волны. При углах падения $\theta < \theta_{кр}$, где $\theta_{кр}$ - угол полного внутреннего отражения волны, поглощение звука на границе раздела обеспечивается как за счёт прохождения звуковой волны из газа в жидкость, так и диссипацией энергии в АПС. Если $\theta \geq \theta_{кр}$, то коэффициент поглощения звука поверхностью жидкого полупространства $D_{BL} \neq 0$ и его величина монотонно возрастает по мере увеличения угла падения волны θ , а при $\theta = \theta_{mb}$ он достигает своего максимального значения D_{BLm} .

Проведено сопоставление полученных результатов с теорией Б.П. Константинова. Установлено, что угловые зависимости $D_{BL}(\theta)$ и $D_K(\theta)$, где $D_K(\theta)$ - коэффициент поглощения звука твёрдой абсолютно теплопроводной поверхностью, на фиксированных частотах звуковой волны практически совпадают. При этом выполняются неравенства $D_{BLm} < D_{Km} = 0,83$ и $\theta_{mb} < \theta_m$ где θ_m - угол падения звуковой волны, при котором наблюдается значение D_{Km} .

Результаты работы целесообразно применять для расчётов акустических потерь в замкнутых объёмах, в которых имеется свободная поверхность жидкости. Полученные в работе выражения можно также использовать для оценки поглощающей способности поверхности твёрдых резиноподобных тел.

Ключевые слова: звуковая волна, коэффициент поглощения, диссипация энергии, жидкое полупространство, входной импеданс, граница раздела, акустические потери.

DISSIPATION OF ACOUSTIC ENERGY ON THE SURFACE LIQUID HALF-SPACE

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 190121, Russian Federation
e-mail: legusha@smtu.ru

Oleinick Mariya Mikhailovna

the senior lecturer of department of physics
State marine technical university of Saint-Petersburg
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190121, Russian Federation
e-mail: astah.mar@yandex.ru

Tkachenko Igor Vyacheslavovich

the professor, Doctor of Technical Sciences
Head of fluid mechanics and marine acoustics department
State marine technical university of Saint-Petersburg
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190121, Russian Federation
e-mail: igor.v.tkachenko@mail.ru

Chizhov Georgiy Vitalevich

the engineer of hybrid engineering center
State marine technical university of Saint-Petersburg
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190121, Russian Federation
e-mail: gohak4@gmail.ru

Ilyakov Vladislav Andreevich

the master, Master Program 03.04.02.0.01 "physical and technical acoustics"
State marine technical university of Saint-Petersburg
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190121, Russian Federation

Abstract

The paper developed a method for calculating the absorption coefficient of the liquid surface of the flat half, which formed an acoustic boundary layer (ABL). It is assumed that the plane harmonic sound wave propagating in a space filled with a gas, liquid drops on the surface of the half at an arbitrary angle θ falling.

As an example, in the paper the calculations of the angular dependence of the sound absorption coefficient for the air-water and air-kerosene borders. At such boundaries observed, given the phenomenon of total internal reflection of the sound wave. At incidence angles $\theta < \theta_{kp}$, where θ_{kp} - the angle of total internal, sound absorption at the interface is provided both through the passage of a sound wave from a gas to a liquid, and energy dissipation in the ABL. If $\theta \geq \theta_{kp}$, the sound absorption coefficient of the surface of liquid half $D_{BL} \neq 0$, and its value increases monotonically with increasing angle of incidence theta waves, and when $\theta = \theta_{mb}$ it reaches its maximum value D_{BLm} .

A comparison of the results with the theory of B.P. Konstantinov. It is found that the angular dependence of $D_{BL}(\theta)$ and $D_K(\theta)$, where $D_K(\theta)$ - sound absorption coefficient of solid absolutely heat-conducting surface at fixed frequencies of the sound wave are practically the same. In this case the inequalities $D_{BLm} < D_{Km} = 0.83$ and $\theta_{mb} < \theta_m$ where θ_m - the angle of incidence of the sound wave, in which the observed value of D_{Km} .

The results are useful for acoustic calculations of losses in a closed volume in which there is a free surface of the liquid. Resulting in the expression can also be used to evaluate the absorption capacity of the surface of the rubber-like solid bodies.

Key words: sound wave, the absorption coefficient, energy dissipation, liquid half-space, the input impedance, interface, acoustic losses.

Введение

В судостроении часто встречается ситуация, когда в ограниченном твёрдыми стенками объёме газа имеется свободная поверхность жидкости.

Для оценки диссипативных процессов, протекающих в ограниченном объёме газа, необходимо иметь методику расчёта акустических параметров жидкой поверхности. В акустике помещений показано, что при малых объёмах ограниченных сред основной вклад в поглощение звука вносит диссипация энергии в акустическом пограничном слое (АПС). Следовательно, для расчёта акустических параметров поверхности жидкости необходимо иметь выражения, в которых диссипация энергии в АПС учитывается автоматически.

Впервые влияние диссипации энергии в АПС на параметры звуковой волны взаимодействующей с плоской бесконечной границей газ-жидкость рассмотрено в работах [1-3]. В статьях [2,3] получено выражение для входного импеданса жидкой поверхности, контактирующей с газом.

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, а второе полупространство заполнено жидкостью. Статическое давление в первой среде $P_0 = 1,0$ атм. Статическая температура системы $T_0 = 293$ К.

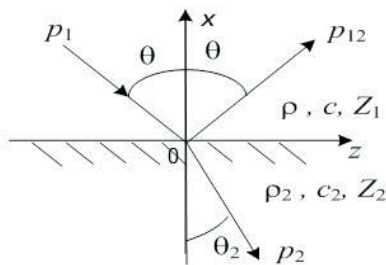


Рис. 1 Схема взаимодействия гармонической звуковой волны с плоской границей жидких полупространств:

p_1 , p_{12} и p_2 – соответственно падающая, отражённая и преломлённая волны

Характерной особенностью рассматриваемой границы является то, что на ней выполняется неравенство $c < c_2$, где c , c_2 - скорости звука в первой и второй среде соответственно. Следовательно, на границе при углах падения волны $\theta \geq \theta_{кр} = \arcsin(c/c_2)$ наблюдается явление полного внутреннего отражения.

2. Классическое решение задачи

Для оценки способности отражающей поверхности поглощать звуковую энергию используем коэффициент поглощения звука, величину кото-

рого можно рассчитать при помощи выражения, полученного в книге [4]

$$D = 1 - |R|^2, \tag{1}$$

где R – коэффициент отражения звуковой волны по давлению.

Как видно из формулы (1) для оценки величины коэффициента поглощения необходимо иметь выражение для расчёта коэффициента отражения звуковой волны по давлению

$$R = \frac{Z_{ex} - Z_1}{Z_{ex} + Z_1}, \tag{2}$$

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

3. Входной импеданс плоской границы

Из выражения (2) видно, что для решения поставленной задачи достаточно иметь формулу, позволяющую рассчитать величину входного импеданса поверхности жидкого полупространства. В классическом случае, когда не учитывается наличие АПС вблизи границы раздела, входной импеданс нижнего полупространства определяется из выражения

$$Z_{ex} = Z_2 = \rho_2 c_2 / \cos \theta_2, \tag{3}$$

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

Входной акустический импеданс плоской твёрдой абсолютно теплопроводной поверхности, учитывающий диссипацию энергии в АПС, получен Б.П. Константиновым в работах [5,6], а формула для его расчёта имеет вид

$$Z_k = \frac{(1-i)\rho c}{2m \cos \theta}, \tag{4}$$

где m – параметр, учитывающий поглощение звука в АПС.

Выражение входного акустического импеданса плоской поверхности жидкого полупространства, в котором учитывается наличие АПС вблизи отражающей жидкой поверхности, получено в работах [2,3] и имеет вид

$$Z_{BL} = \frac{Z_k Z_2}{Z_k + Z_2}. \tag{5}$$

4. Коэффициент поглощения звука

Применяя последовательно выражения (1), (2) и (3) не трудно рассчитать коэффициент поглощения звука D_{kl} для классического случая.

Используя выражения (1), (2) и (4), Б.П. Константинов [5,6] получил формулу для расчёта коэффициента поглощения звука (КПЗ) в АПС твёрдой абсолютно теплопроводной поверхности

$$D_k = \frac{4m}{1 + 2m + 2m^2}, \tag{6}$$

где $m = (b_{11} + b_{21} \sin^2 \theta) / \cos \theta$, $b_{11} = (\gamma - 1) \sqrt{\omega a / 2c^2}$, $b_{21} = \sqrt{\omega \nu / 2c^2}$, $\omega = 2\pi f$ – частота звуковой волны, $\gamma = C_P / C_V$ – коэффициент Пуассона, C_P и C_V – удельные теплоемкости среды при постоянном давлении и объеме, $\nu = \eta / \rho$ – кинематическая вязкость, $a = \chi / C_P \cdot \rho$ – температуропроводность, η – динамическая вязкость, χ – теплопроводность газа.

Отметим, что функция (6) имеет максимум при угле падения $\theta_m = \pi/2 - \sqrt{2} (b_{11} + b_{21})$. При $\theta = \theta_m$ величина $D_{kmax} = 0,8284$.

Аналогичным образом, используя выражение (5), можно получить формулу для расчёта КПЗ на поверхности жидкости D_{BL} с учётом диссипации энергии в АПС.

5. Результаты расчётов

Рассмотрим результаты расчётов угловых зависимостей КПЗ поверхности жидкого полупространства (см. рис.1).

Угловая зависимость классического КПЗ $D_{kl}(\theta)$ показана на рис. 2.

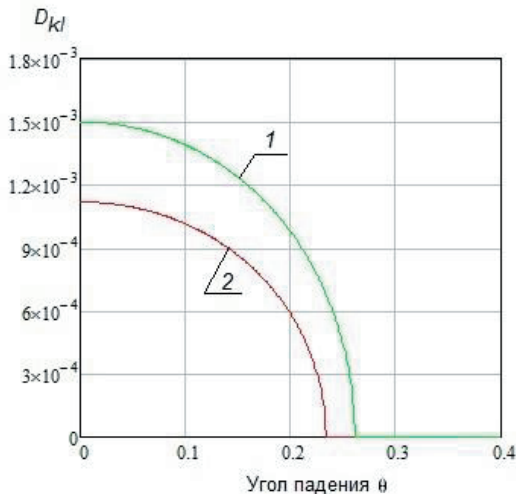


Рис. 2 Зависимость классического КПЗ волны от её угла падения

- 1 - для границы: воздух – керосин;
- 2 - для границы: воздух-вода

Этот рисунок иллюстрирует известный результат [4], заключающийся в том, что звуковая волна из первой среды переходит во вторую среду, если углы падения волны $\theta < \theta_{кр}$. Величина $\theta_{кр}$ зависит от отношения скоростей звука контактирующих сред и в данном случае для границы: воздух-вода $\theta_{кр} = 0,234$; воздух-керосин $\theta_{кр1} = 0,261$. При углах падения $\theta \geq \theta_{кр}$ величина $D_{kl} = 0$. Значения $D_{kl}(\theta)$ зависят от термодинамических условий, при которых находится газ. Например, при увеличении статического давления среды пропорционально увеличивается её плотность и, как это следует из формул (1) и (2), величины $D_{kl}(\theta)$ возрастают.

Угловые зависимости КПЗ Константинова $D_k(\theta)$ и поверхности жидкости $D_{BL}(\theta)$ представлены на рис. 3 и рис. 4. Расчёты произведены на фиксированных частотах 10,0 кГц (кривые 1, 3, 5) и 50,0 кГц (кривые 2, 4, 6).

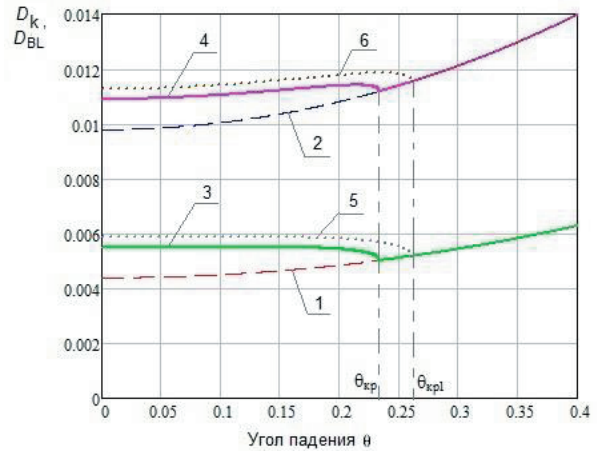


Рис. 3 Угловая зависимость КПЗ волны:

- 1 - $D_k(\theta)$, $f = 10$ кГц; 2 - $D_k(\theta)$ $f = 50$ кГц;
- 3 - $D_{BL}(\theta)$, поверхность воды, $f = 10$ кГц;
- 4 - $D_{BL}(\theta)$, поверхность воды, $f = 50$ кГц;
- 5 - $D_{BL}(\theta)$, поверхность керосина, $f = 10$ кГц,
- 6 - $D_{BL}(\theta)$, поверхность керосина, $f = 50$ кГц

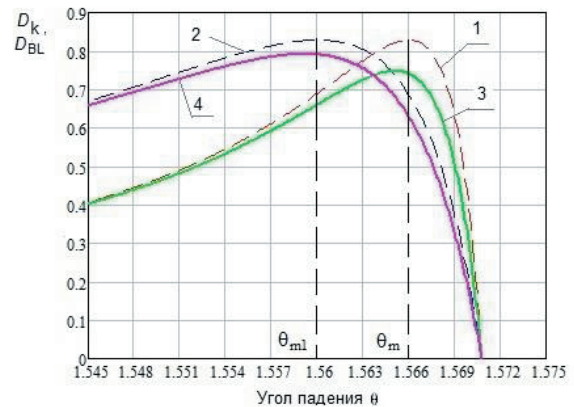


Рис. 4 Угловая зависимость КПЗ волны:

- 1 - $D_k(\theta)$, $f = 10$ кГц; 2 - $D_k(\theta)$ $f = 50$ кГц;
- 3 - $D_{BL}(\theta)$, $f = 10$ кГц; 4 - $D_{BL}(\theta)$, $f = 50$ кГц;
- $\theta_{m1} = 1,560$ радиан, $\theta_{m2} = 1,566$ радиан

Вначале рассмотрим особенности хода кривых $D_k(\theta)$ и $D_{BL}(\theta)$ при малых углах падения волны $\theta \leq 0,4$ радиан (см. рис. 3). На графике представлены результаты расчётов для границ раздела: воздух-вода (кривые 3 и 4); воздух-керосин (кривые 5 и 6).

Прежде всего, отметим, что зависимости $D_k(\theta)$ (кривые 1 и 2) являются следствием расчёта диссипации энергии в АПС твёрдой абсолютно теплопроводной поверхности [5,6]. Значения $D_k(\theta)$ зависят от физических параметров газа, заполняющего верхнее полупространство, и частоты волны. Изменения термодинамических условий,

при которых находится газ, влияют на значения $D_k(\theta)$ и при проведении расчётов это должно быть учтено.

Как нетрудно заметить из рис. 3 в диапазоне углов падения от 0 до $\theta_{кр}$ полный КПЗ $D_{BL}(\theta) > D_k(\theta)$. Это является следствием того, что при углах $0 \dots \theta_{кр}$ часть энергии звуковой волны переходит в нижнее полупространство (см. рис. 1). Если $\theta = \theta_{кр}$, то $D_{BL}(\theta_{кр}) = D_k(\theta_{кр})$. При углах падения $\theta > \theta_{кр}$, кривые $D_{BL}(\theta)$ и $D_k(\theta)$ практически совпадают.

С ростом частоты значения $D_k(\theta)$ и $D_{BL}(\theta)$ увеличиваются. В звуковом диапазоне частот выполняется неравенство $D_k(\theta) > D_{kl}(\theta)$. Нетрудно показать, что разность $D_{BL}(\theta) - D_{kl}(\theta) = D_k(\theta)$. Следовательно, необратимое превращение акустической энергии в тепло в диапазоне углов падения $0 \dots \theta_{кр}$ обеспечивается диссипативными процессами в АПС поверхности жидкого полупространства.

Рассмотрим особенности поведения функций $D_k(\theta)$ и $D_{BL}(\theta)$ для углов падения близких к θ_m , при котором наблюдается максимум КПЗ (6). Ход этих кривых показан на рис. 4, из которого видно, что в

указанном диапазоне углов θ величина $D_{BL}(\theta) < D_k(\theta)$. При увеличении частоты волны разность $D_k(\theta) - D_{BL}(\theta)$ уменьшается и в пределе стремится к нулю. Следовательно, на высоких частотах поверхность раздела газ-жидкость ведёт себя аналогично границе газ - твёрдое абсолютно теплопроводное тело. Отметим, что такой же вывод был сделан по результатам исследований, представленных в статье [7].

Заключение

Выражения, полученные в данной работе, можно также использовать для оценки поглощающей способности поверхностей твёрдых резноподобных тел. При решении практических задач наиболее эффективно применение результатов этой работы в случаях, когда необходимо рассчитать акустические потери в замкнутых объёмах, ограниченных твёрдыми стенками, в которых имеется свободная поверхность жидкости.

Литература

1. Легуша Ф.Ф., Мусакаев М.А., Попков С.В., Ткаченко И.В. Влияние диссипации энергии в АПС на коэффициент отражения плоской звуковой волны от границы газ-жидкость // СПб: Морские интеллектуальные технологии, №4 (30), Т. 1, 2015, с. 52-58.
2. 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, №2 (28), Т. 1, 2015, с. 81-87.
3. Легуша Ф.Ф., Мусакаев М.А., Попков С.В., Чижов Г.В. Исследование влияния диссипации энергии в АПС на параметры отражения акустического поля, возникающего при взаимодействии звуковой волны с границей газ-жидкость, Вестник СПбО АИН. Вып. №11. – СПб: Изд-во Университета ИТМО, 2015, с. 113-126.
4. Бреховских Л.М., Годин О.А. Акустика неоднородных сред. Том 1 Основы теории отражения и распространения звука. – М.: Наука, 2007. – 443 с.
5. Константинов Б. П. О поглощении звуковых волн при отражении от твердой границы. ЖТФ, т.9, №3, 1939, с. 226-238.
6. Константинов Б. П. Гидродинамическое звукообразование и распространение звука в ограниченных средах. – Л.: Наука, 1974. – 144 с.
7. Легуша Ф. Ф. Эффект Константинова и поглощение звука в неоднородных средах. УФН, 1984, т. 144, №3, с. 509-522.

References

1. 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 // Sea Information Technologies, 4(30), Tom 1, 2015, pp. 52-58.
2. Legusha F.F., Musakaev M.A., Popkov S.V., Chizhov G.V. Impedance plane boundary gas-liquid interface with taking into account energy dissipation in the acoustic boundary layer // Sea Information Technologies, 2(28), Tom 1, 2015, pp. 81-87.
3. Legusha F.F., Musakaev M.A., Popkov S.V., Chizhov G.V. Investigation of the energy dissipation effect in the acoustic boundary layer on the parameters of reflection acoustic field resulting from the interaction of sound waves with the boundary of the gas-liquid // Vestnik SPbO AIN, №11, 2015, pp. 113-126.

4. Brehovskih L.M., Godin O.A. Acoustics inhomogeneous environment. Vol 1 Fundamentals of reflection and sound propagation theory. M.: Nauka, 2007. – 443 p.
5. Konstantinov B. P. About the absorption of sound waves reflected from a solid border // ZhTF, V.9, N3, 1939, p. 226-238.
6. Konstantinov B. P. Hydrodynamic sound creations and sound propagation in constrained environments. L.: Nauka, 1974. 144 p.
7. Legusha F.F. Konstantinov effect and sound absorption in heterogeneous environments. Sov. Phys, 1984, t. 144, №3, pp. 5

УДК 534.26

СТРОГОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДИФРАКЦИИ ЗВУКА НА СИСТЕМЕ УПРУГИХ И ВЯЗКО-УПРУГИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СЛОЕВ

Ильменков Сергей Львович

кандидат технических наук, доцент кафедры судовой автоматики и измерений
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
190008, Санкт-Петербург, ул. Лотманская, 3
e-mail: sl_ilmenkov@mail.ru

Аннотация

С использованием методов динамической теории упругости и разделения переменных получены результаты строгого решения задачи рассеяния звука системой упругих и вязко-упругих цилиндрических слоев, находящихся в безграничной жидкой среде. Алгоритм базируется на разложении упругих потенциалов слоев и звуковых давлений по фундаментальным решениям уравнения Гельмгольца в круговой цилиндрической системе координат. Подстановка разложений в граничные условия на поверхностях контакта слоев между собой (а также с внешней и внутренней средами) приводит к алгебраическим системам уравнений для нахождения неизвестных коэффициентов. Значения последних, полученные из решения систем по правилу Крамера, позволяют найти распределения рассеянного давления. Вычислены и проанализированы угловые диаграммы и частотные зависимости рассеяния стационарного, а также временные и спектральные характеристики рассеяния импульсного сигнала для различных вариантов расположения слоев.

Ключевые слова: цилиндрические слои, упругие напряжения, граничные условия, характеристики рассеяния, стационарный и импульсный сигналы.

RIGOROUS SOLUTION OF THE PROBLEM OF DIFFRACTION OF SOUND ON THE SYSTEM ELASTIC AND VISCOUS-ELASTIC CYLINDRICAL LAYERS

Ilmenkov Sergey Lvovich

the associate professor, Cand.Sci.Tech.,
the associate professor of department of marine automation and measurement
State marine technical university of Saint-Petersburg
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation
e-mail: sl_ilmenkov@mail.ru

Abstract

On using the methods of dynamic theory of elasticity and separation of variables the results obtained rigorous solutions of scattering sound problems of elastic and viscous-elastic cylindrical layers located in an infinite liquid medium. The algorithm is based on decomposition of the elastic potentials of the layers and the acoustic output pressure at the fundamental solutions of the Helmholtz equation in circular cylindrical coordinate system. Substitution of the expansions in the boundary conditions at the surfaces of contact layers in between (as well as external and internal environments) leads to algebraic systems of equations for finding the unknown coefficients. The values obtained from solving systems by Cramer's rule, allowing you to find the distribution of the scattered pressure. The angular characteristics and frequency dependences of scattering (for stationary signal), temporal and spectral characteristics of scattering (for impulse signal) for multiple layers are calculated and analyzed.

Key words: cylindrical layers, elastic stresses, boundary conditions, dispersion characteristics, steady and pulse signals.

Введение

Среди большого количества работ по вопросам дифракции звуковых сигналов значительное внимание уделяется идеальным или упругим те-

лам в форме бесконечных круговых цилиндров [1 – 7, 10-13]. Особый интерес представляют задачи низкочастотного рассеяния звука на тонких упругих цилиндрических оболочках, находящихся в жидкости. В данной области частот упругие оболочки вследствие хорошо выраженных низкочастот-

стотных резонансов являются весьма эффективными рассеивателями (в отличие от акустически жестких тел).

Решение одной из граничных задач подобного класса о рассеянии стационарного звукового сигнала вязко-упругими цилиндрическими слоями рассмотрим методами динамической теории упругости и разделения переменных [5 – 7].

1. Постановка задачи

Будем рассматривать сначала гармонический непрерывный звуковой сигнал, облучающий данную систему слоёв и будем полагать, что на нее падает плоская звуковая волна единичной амплитуды и частоты ω ($\omega = 2\pi f$, f - частота сигнала в Гц) таким образом, что волновой вектор \vec{k} падающей волны перпендикулярен оси z этой системы ($\theta_1 = 90^\circ$, плоская задача, рис. 1).

Для более детального сравнительного анализа характеристик отражения проведем исследования нескольких конструктивных вариантов системы.

Вариант 1. Система состоит из одного упругого слоя (со скалярным и векторным потенциалами соответственно Φ и $\vec{\Psi}$ и двух областей: внутренней I – вакуум (волновые процессы отсутствуют), наружной II - внешняя жидкая среда, характеризующаяся звуковыми давлениями в падающей волне p_i и рассеянной (отражённой) волне p_s (см. рис. 1).

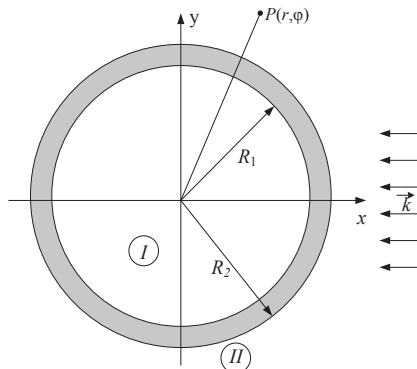


Рис. 1. Схема варианта 1.

Здесь и далее в силу плоской постановки задачи все векторные потенциалы будут иметь только одну компоненту, отличную от нуля, а именно, Ψ_z , которую мы обозначим как Ψ .

Потенциалы слоя и звуковые давления разложим по фундаментальным решениям уравнения Гельмгольца в круговой цилиндрической системе координат [7,8]:

$$\Phi = \sum_{m=0}^{\infty} [B_m J_m(k_1 r) + C_m N_m(k_1 r)] \cos m\varphi; \quad (1)$$

$$\Psi = \sum_{m=1}^{\infty} [D_m J_m(k_1 r) + F_m N_m(k_1 r)] \sin m\varphi; \quad (2)$$

$$p_i = \sum_{m=0}^{\infty} \varepsilon_m (-i)^m J_m(kr) \cos m\varphi; \quad (3)$$

$$p_s = \sum_{m=0}^{\infty} A_m H_m^{(1)}(kr) \cos m\varphi; \quad (4)$$

где k_i, k_t, k - волновые числа соответственно продольных и поперечных волн в упругом слое и внешней жидкой среде; $\varepsilon_m = 1$ при $m = 0$ и $\varepsilon_m = 2$ ($m \neq 0$);

A_m, B_m, C_m, D_m, E_m - неизвестные коэффициенты, которые находятся из граничных условий:

- 1) отсутствие напряжений на границе вакуума и упругого слоя ($r = R_1$);
- 2) на внешней границе упругого слоя и жидкой среды ($r = R_2$) отсутствуют касательные напряжения в упругом слое;
- 3) нормальные компоненты смещения непрерывны;
- 4) нормальное напряжение в упругом слое равно суммарному (дифрагированному) давлению в жидкой среде $p_s = p_i + p_s$.

Подставляя разложения (1)-(4) в граничные условия и используя ортогональность тригонометрических функций $\cos m\varphi$ и $\sin m\varphi$ получим для каждой моды m алгебраическую систему 5 – го порядка для нахождения неизвестных коэффициентов разложения с фиксированным индексом. Для нахождения рассеянного давления необходимо определить коэффициенты A_m , входящие в выражение (4). С использованием асимптотики для цилиндрических функций Ханкеля 1 – го рода $H_m^{(1)}(kr)$ из (4) получим соотношение для угловой характеристики рассеяния $D(\varphi)$:

$$D(\varphi) = -\exp(-i\pi/4)(\pi k)^{-1} \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m A_m \cos m\varphi; \quad (5)$$

Определяя коэффициенты A_m из решения системы по правилу Крамера, на основании (5) рассчитываем значения $|D(\varphi)|$.

Вариант 2. В отличие от предыдущего варианта, внутри вместо вакуума находится вода с плотностью ρ_0 и скоростью звука s . Звуковое давление внутри оболочки p_1 может быть представлено рядом:

$$p_1 = \sum_{m=0}^{\infty} G_m J_m(kr) \cos m\varphi; \quad (6)$$

где G_m - неизвестные коэффициенты разложения.

Соответствующим образом трансформируются граничные условия (1)-(4): на внутренней границе упругого слоя появится давление p_1 , и будет введено дополнительное граничное условие о непрерывности нормальных компонент вектора смещения на внутренней границе упругого слоя и жидкой среды.

Вариант 3. Система состоит из: 1) внутреннего вязко-упругого слоя 1 со скалярным и векторным

потенциалами Φ_2 и $\overline{\Psi}_2$; 2) упругого слоя 2 с потенциалами Φ_3 и $\overline{\Psi}_3$; 3) вязко-упругого слоя 3 (Φ_4 и $\overline{\Psi}_4$); 4) вязко-упругого слоя 4 (Φ_5 и $\overline{\Psi}_5$, (рис.2):

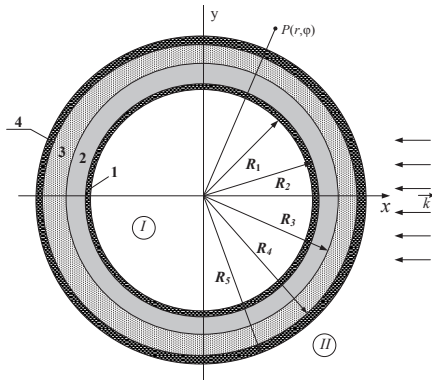


Рис.2. Схема варианта 3.

Все вязко-упругие слои отличаются друг от друга плотностью материала, упругими модулями и коэффициентами потерь η . Внутри системы (область I) - вакуум, снаружи (область II) - вода. Наружная область II характеризуется звуковыми давлениями p_i и p_s .

Потенциалы всех слоев и звуковые давления также раскладываются в ряды по фундаментальным решениям уравнения Гельмгольца в круговой цилиндрической системе координат:

$$\Phi_2(r, \varphi) = \sum_{m=0}^{\infty} [I_m J_m(k_2 r) + K_m N_m(k_2 r)] \cos m\varphi; \quad (7)$$

$$\Psi_2(r, \varphi) = \sum_{m=1}^{\infty} [L_m J_m(k_2' r) + Q_m N_m(k_2' r)] \sin m\varphi; \quad (8)$$

$$\Phi_3(r, \varphi) = \sum_{m=0}^{\infty} [P_m J_m(k_3 r) + R_m N_m(k_3 r)] \cos m\varphi; \quad (9)$$

$$\Psi_3(r, \varphi) = \sum_{m=1}^{\infty} [S_m J_m(k_3' r) + T_m N_m(k_3' r)] \sin m\varphi; \quad (10)$$

$$\Phi_4(r, \varphi) = \sum_{m=0}^{\infty} [V_m J_m(k_4 r) + W_m N_m(k_4 r)] \cos m\varphi; \quad (11)$$

$$\Psi_4(r, \varphi) = \sum_{m=1}^{\infty} [X_m J_m(k_4' r) + Y_m N_m(k_4' r)] \sin m\varphi; \quad (12)$$

$$\Phi_5(r, \varphi) = \sum_{m=0}^{\infty} [V_{1m} J_m(k_5 r) + W_{1m} N_m(k_5 r)] \cos m\varphi; \quad (13)$$

$$\Psi_5(r, \varphi) = \sum_{m=1}^{\infty} [X_{1m} J_m(k_5' r) + Y_{1m} N_m(k_5' r)] \sin m\varphi; \quad (14)$$

$$p_i(r, \varphi) = \sum_{m=0}^{\infty} \varepsilon_m (-i)^m J_m(k_6 r) \cos m\varphi; \quad (15)$$

$$p_s(r, \varphi) = \sum_{m=0}^{\infty} A_m H_m^{(1)}(k_6 r) \cos m\varphi. \quad (16)$$

где $k_2 \div k_6$ и $k_2' \div k_5'$ - волновые числа соответственно продольных и поперечных волн в упругом, вязко-упругих слоях и внешней жидкой среде;

$$\varepsilon_m = 0 (m=0); \varepsilon_m = 1 (m \neq 0);$$

$$I_m, K_m, L_m, Q_m, P_m, R_m, S_m, T_m, V_m, W_m, X_m, Y_m, V_{1m}, W_{1m}, X_{1m}, Y_{1m} -$$

неизвестные коэффициенты, которые находятся из граничных условий:

- 1) отсутствие напряжений на границе вакуума и вязко-упругого слоя 1;
- 2) непрерывность смещений и напряжений на внешней границе вязко-упругого слоя 1 и внутренней границе упругого слоя 2;
- 3) непрерывность смещений и напряжений на внешней границе упругого слоя 2 и внутренней границе вязко-упругого слоя 3;
- 4) непрерывность смещений и напряжений на внешней границе вязко-упругого слоя 3 и внутренней границе вязко-упругого слоя 4.
- 5) на внешней границе вязко-упругого слоя 4 и жидкой среды отсутствуют касательные напряжения в вязкоупругом слое; нормальные компоненты смещения непрерывны; нормальное напряжение в вязко-упругом слое равно суммарному (дифрагированному) давлению в жидкой среде.

Подставляя разложения (7)-(16) в граничные условия, получим алгебраическую систему 17 – го порядка для нахождения неизвестных коэффициентов разложения с фиксированным индексом. Определяя коэффициенты A_m , аналогичным образом, определим угловую характеристику рассеяния $D(\varphi)$ из выражения (5).

Вариант 4. Схема слоёв остается такой же, как и в предыдущем варианте, но внутри вместо вакуума – вода. Поэтому внутри слоёв появится звуковое давление p_1 , которое может быть представлено рядом:

$$p_1(r, \varphi) = \sum_{m=0}^{\infty} \varepsilon_m (-i)^m J_m(k_6 r) \cos m\varphi Z_{1m}, \quad (17)$$

где Z_{1m} - неизвестные коэффициенты разложения.

Соответственно трансформируются и граничные условия: появляется давление p_s и вводится дополнительное условие о непрерывности нормальных компонент вектора смещения на внутренней границе вязко-упругого слоя 1 и внутренней жидкой среды. При этом порядок системы для нахождения неизвестных коэффициентов увеличивается на 1

3. Анализ результатов расчетов для стационарного сигнала

В соответствии с изложенным алгоритмом были выполнены расчеты угловых характеристик рассеяния звука $|D(\varphi)|$ в диапазоне углов наблюдения $\varphi = 0^\circ \div 360^\circ$ и частотных зависимостей $|D(\varphi)|$ в диапазоне волновых радиусов $ka = 0,75 \div 20,0$ (где $a = R_1$ для варианта 1).

Материалы слоев: упругого – сталь; вязко-упругих – три типа резины с плотностями ρ_j , коэффициентами Ламе λ_j, μ_j , коэффициентами

механических потерь η и скоростями упругих волн c_j соответственно:

слои 1,4: $\rho_j = 0.92 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$;

слой 2: $\rho_j = 0.95 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$;

слой 3: $\rho_j = 1.15 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$;

$\mu_j = (1+\eta)$; $\lambda_j = 2\mu_j\eta/(1-2\eta)$;

$c_j = \sqrt{(\lambda_j + 2\mu_j)/\rho_j}$;

где j – индекс соответствующего вязко-упругого слоя; μ и η – определялись для каждого слоя, исходя из их частотных зависимостей.

Жидкая среда – вода: $\rho_0 = 10^3 \text{ кг/м}^3$; $c=1500 \text{ м/с}$.

Радиусы R_i и толщины слоев d_i нормировались по отношению к $a=1$:

Варианты 1 и 2: $R_1 = 1$; $R_2 = 1,03$; $d = 0,03$;

Варианты 3 и 4: $R_1 = 1,348$; $R_2 = 1,35$;

$R_1 = 1$; $R_2 = 1,03$; $d_1 = 0,03$; $d_2 = 0,002$.

На рис. 3 приведены результаты расчетов на некоторых частотах локации: $ka=0,75$; 1,5 и 7,5 для стальной оболочки без покрытий, заполненной водой (кривая 1) и той же оболочки с покрытиями согласно схеме на рис.2 (кривая 2).

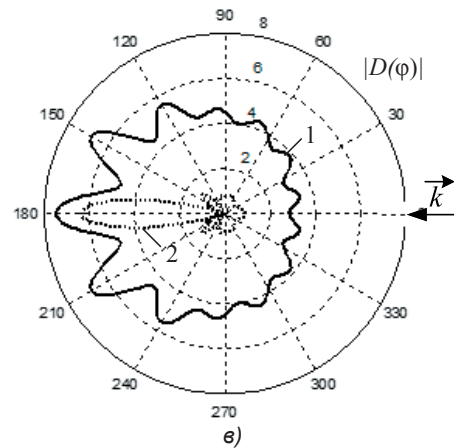


Рис. 3. Модули угловых характеристик рассеяния $|D(\varphi)|$ для оболочки без покрытий (1) и с покрытиями (2): а) $ka = 0,75$; б) $ka = 1,5$; в) $ka = 7,5$.

Эффект вязко-упругих слоев (кривая 2) проявляется в снижении обратного отражения более, чем в два раза и росте теневого в 2-3 раза (см. Рис. 3,а,б). Максимальное снижение рассеянного сигнала у оболочки с покрытиями наблюдается на частоте, близкой к резонансной (см. Рис. 3,в).

Более детальное представление о сложном характере взаимодействия упругого и вязко-упругих слоев при формировании рассеянного поля системы позволяют получить частотные зависимости $|D(\varphi)|$. На рис. 4 показаны рассчитанные частотные зависимости стальной оболочки без покрытий (кривая 1) и той же оболочки с покрытиями (кривая 2) соответственно для обратного $|D(0^\circ)|$ (а) и теневого $|D(180^\circ)|$ (б) рассеяния.

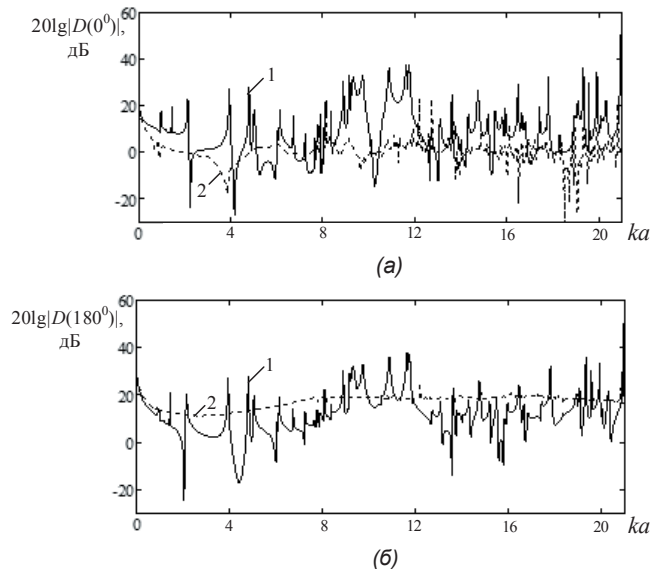
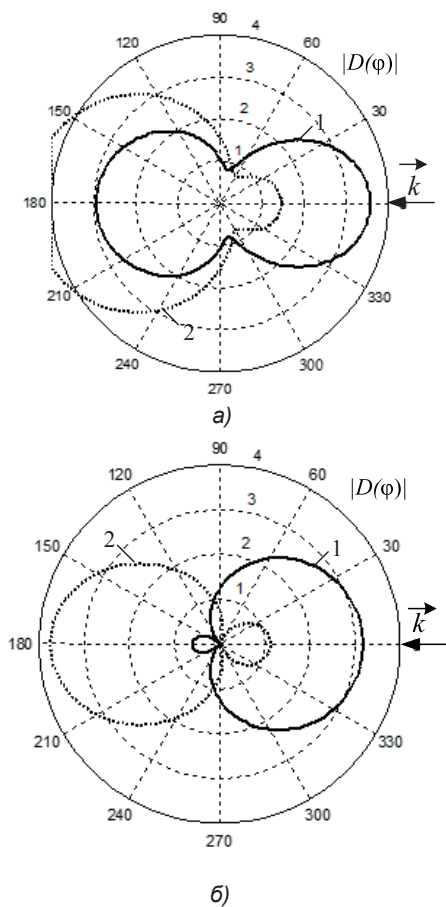


Рис.4. Частотные зависимости обратного (а) и теневого (б) рассеяния для оболочки без покрытий (1) и с покрытиями (2).

Как видно из рисунков, частотные зависимости рассеяния звука необлицованной оболочкой имеют высокие максимумы и глубокие минимумы, обусловленные деформируемостью рассеивающих слоев и резонансными явлениями. Для сравнения ниже приводятся частотные зависимости

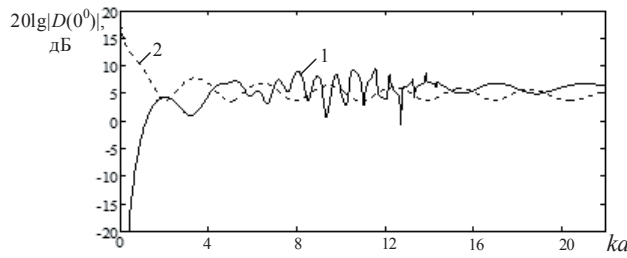
при обратном (рис.5,а) и теневого (рис.5,б) рассеянии для: акустически жесткого (кривая 1) и мягкого (кривая 2) цилиндров, рассчитанные на основании известного выражения, учитывающего асимптотику функций Ханкеля [5,6]:

$$H_m^{(1)}(kr)_{kr \rightarrow \infty} \approx \sqrt{2/\pi kr} \exp[ikr - (\pi/2) \cdot (m + 0,5)]; \quad (18)$$

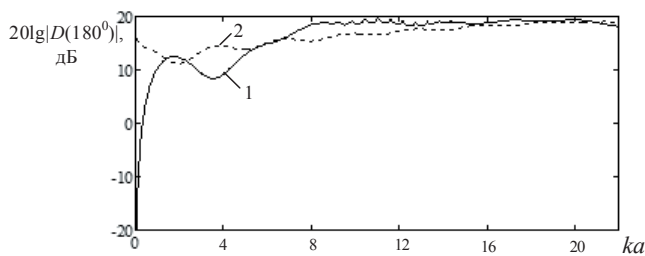
$$D(\varphi) = -\frac{\exp(-i\pi/4)}{\sqrt{\pi k}} \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \frac{\Omega J_m(kr_0)}{\Omega H_m^{(1)}(kr_0)} \cos m\varphi; \quad (19)$$

где $\Omega = 1$ для звукомягкого цилиндра;
 $\Omega = \partial/\partial r|_{r=r_0}$ - для жесткого цилиндра; $r_0 = R_2$.

На низких частотах локации ($ka \leq 2,0$) (частотные зависимости для упругой оболочки в целом соответствуют аналогичным характеристикам для мягкого цилиндра, а с ростом частоты - все более приближаются к таковым для жесткого.



(а)



(б)

Рис.5. Частотные зависимости обратного (а) и теневого (б) рассеяния для акустически жесткого (1) и мягкого (2) цилиндров.

В диапазоне $ka > 4,0$ для упругой оболочки (кривая 1 на рис. 4) проявляются резонансы первых форм колебаний волн типа Лэмба. С ростом частоты все более возрастает роль резонансов поверхностных волн типа Рэлея, при которых вдоль контура цилиндра укладывается нечетное число длин этих полуволн. На частотах упругих резонансов наблюдается и максимальная эффективность покрытий (кривая 2 на рис. 4).

При $ka > 15,0$ осцилляции амплитуды при обратном рассеянии нарастают более значительно, чем при теневого, что может быть результатом интерференции периферических волн, огибающих оболочку в противоположных направлениях. Меньшая изрезанность характеристики теневого рассеяния (рис. 4,б) наблюдается также и на облицованной оболочке (кривая 2).

Следует отметить, что в области возбуждения периферических волн характеристики рассеяния весьма чувствительны даже к незначительным

изменениям частоты, в результате чего происходит замена максимумов минимумами и наоборот.

3. Результаты расчета для импульсного сигнала

От исследования стационарного (гармонического) облучения системы слоев перейдем к нестационарному облучению звуковыми импульсами с прямоугольной огибающей при монохроматическом заполнении.

При изучении дифракции нестационарного звукового сигнала будем использовать подход, рассмотренный ранее в работах [2,3,5]: по спектру рассеянного сигнала $S_s(\nu)$ в полосе частот $\Delta \nu$ с помощью преобразования Фурье отыскивается форма и длительность рассеянного $[\Phi_s(t')]$ импульса, где $t' = t + t_0$, а t_0 - время прохождения сигнала от центра рассеивателя до точки наблюдения.

Плоский зондирующий волновой пакет p_i с частотой заполнения ω_0 и прямоугольной огибающей может быть представлен в следующем виде:

$$p_i(x_i; t - t_1) = p_0(x_i)g(t - t_1), \quad (20)$$

$$g(t - t_1) = \exp(-i\omega_0 t) \{ [U(t) - [U(t - t_1)]] \}, \quad (21)$$

где $x_i (i = 1, 2, 3)$ - обобщенные координаты, связанные с формой рассеивателя; t_1 - длительность волнового пакета; $\omega_0 = 2\pi\nu_0$; $U(t - t_1)$ - единичная ступенчатая функция, определяемая следующим образом:

$$[U(t - t_1)] = 0; t \leq t_1;$$

$$[U(t - t_1)] = 1; t > t_1;$$

Используя преобразование Фурье по времени, получим:

$$p(x_i; t - t_1) = (1/2\pi) \int_{-\infty}^{+\infty} p^F(x_i; \omega) \exp(i\omega t) d\omega; \quad (22)$$

$$p^F(x_i; \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(x_i; t - t_1) \exp(-i\omega t); \quad (23)$$

где $\omega = 2\pi\nu$.

С помощью (23) можно найти Фурье-изображения давлений p_i, p_s и потенциалов

Φ и $\bar{\Psi}$ упругого рассеивателя, удовлетворяющие волновым уравнениям и связанные между собой через граничные условия на поверхности рассеивателя. Полученные Фурье-изображения подчиняются уравнениям Гельмгольца и тем же граничным условиям. Далее общий ход решения задачи рассеяния импульсного звукового сигнала соответствует методу разделения переменных: разложение Фурье-изображений давлений и потенциалов в ряды по собственным функциям уравнения Гельмгольца для данной формы поверхности рассеивателя и нахождение неизвестных коэффициентов разложений из граничных условий.

Обратным преобразованием Фурье определяют оригинал Фурье-изображения p_s^F , т. е. давление в рассеянной волне $p_s(x_i, t)$.

Для расчёта характеристик рассеянных импульсных сигналов были использованы вычисленные ранее значения угловых характеристик $D(\varphi)$ при стационарном облучении в диапазоне частот $\Delta\nu = \nu_1 - \nu_2$; ($\nu_1 = 20\nu'$; $\nu_1 = 2\nu'$;

$\nu_1 = c/\pi a$) с шагом $h_{\Delta\nu} = 0,2\nu_1$.

Падающий импульс $\Psi_i(t)$ и его комплексный амплитудный спектр $S_0(\nu)$ связаны соотношением:

$$\Psi_i(t) = \pi^{-1} \operatorname{Re} \int_{2\pi\nu_1}^{2\pi\nu_2} S_0(\nu) \exp(i2\pi\nu t) d(2\pi\nu). \quad (24)$$

Отражённый импульс $\Psi_s(t)$ выражается через его спектральную характеристику $S(\nu)$ следующим образом:

$$\Psi_s(t, \varphi) = r^{-1/2} \pi^{-1} \int_{2\pi\nu_1}^{2\pi\nu_2} S(\nu, \varphi) \exp(i2\pi\nu t) d(2\pi\nu), \quad (25)$$

где $S(\nu, \varphi) = S_0(\nu)D(\nu, \varphi)$; r – расстояние до точки наблюдения.

При выполнении расчетов падающие импульсы $\Psi_i(t)$ с прямоугольной огибающей имели частоту заполнения $\nu_0 = \sqrt{\nu_1\nu_2}$ и число периодов частоты заполнения $n = 35$. Рассеянные импульсы $\Psi_s(t, \theta)$ вычислялись для обратного и теневого направлений рассеяния.

На рис.6-8 представлены рассчитанные временные (а) и спектральные (б) характеристики рассеяния импульсного сигнала с гармоническим заполнением на системе слоев для вариантов: 2 (кривая 1) и 4 (кривая 2). Для удобства сравнения характеристики приводятся на каждом рисунке в одном масштабе по времени, амплитуде и частоте [14]:

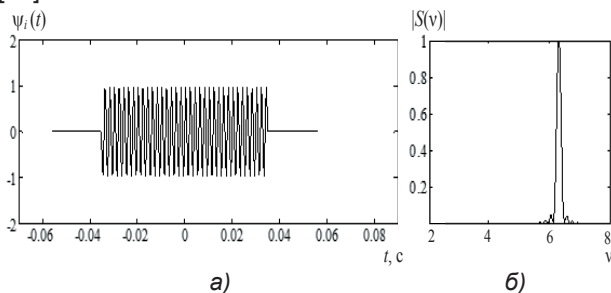


Рис.6. Падающий импульс $\Psi_i(t)$ (а) и модуль его спектра $|S(\nu)|$ (б).

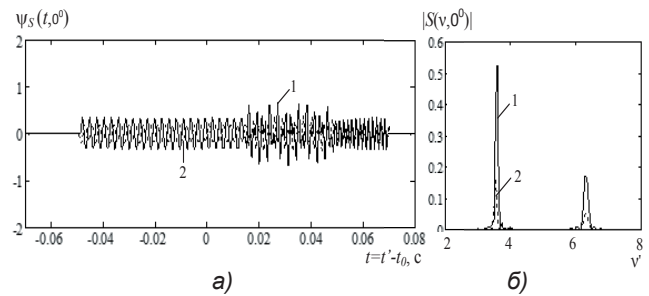


Рис.7. Импульс обратного отражения $\Psi_s(t, 0^0)$ (а) и модуль его спектра $|S(\nu, 0^0)|$ (б) для вариантов: 2 (кривая 1) и 4 (кривая 2).

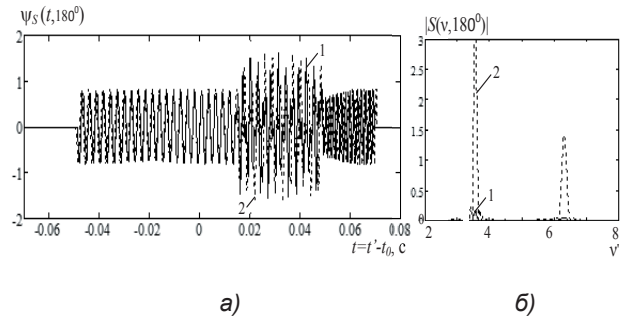


Рис.8. Импульс теневого рассеяния $\Psi_s(t, 180^0)$ (а) и модуль его спектра $|S(\nu, 180^0)|$ (б) для вариантов: 2 (кривая 1) и 4 (кривая 2).

Как видно далее из представленных результатов, во всех случаях рассеянный импульс за счет послезвучания оболочки существенно растягивается во времени. Результаты расчета формы отраженного импульса при данном направлении падающего подтверждают отмеченную ранее (для стационарного облучения) роль периферических волн в формировании отраженных и рассеянных системой сигналов. На приведенных графиках первый фрагмент синусоид определяет импульс, отраженный от наиболее близкой к источнику точки оболочки. Остальные фрагменты представляют собой импульсы, образованные периферическими волнами, амплитуды которых превышают амплитуды прямоотраженных сигналов приблизительно в $\sim 1,5...2$ раза.

Заключение

Использование методов динамической теории упругости и разделения переменных позволило получить результаты строгого решения задачи рассеяния звука на системе упругих и вязко-упругих цилиндрических слоев, находящихся в жидкости.

Разложение упругих потенциалов слоев и звуковых давлений по фундаментальным решениям уравнения Гельмгольца в круговой цилиндрической системе координат с последующей подстановкой их в граничные условия на поверхностях контакта слоев приводит к алгебраическим системам уравнений для нахождения неизвестных коэффициентов. Значения последних позволяют найти распределения рассеянного давления.

Вычислены и проанализированы угловые диаграммы и частотные зависимости рассеяния стационарного, а также временные и спектральные характеристики рассеяния нестационарного (им-

пульсного) сигналов для различных вариантов расположения слоев.

Литература

1. Морз Ф., Фешбах Г. Методы теоретической физики. Москва, Иностранная литература, 1958. Т.1. 1960. Т. 2.
2. Хёнл Х., Мауэ А., Вестпфаль К. Теория дифракции. Москва, Мир, 1964. 428 с.
3. Метсавээр Я. А., Векслер Н. Д., Стулов А. С. Дифракция акустических импульсов на упругих телах. Москва, Наука, 1979.
4. Векслер Н. Д. Информационные проблемы гидроакустики. Таллинн, Валгус. 1982.
5. Клещев А. А. Гидроакустические рассеиватели. 2-ое изд. Санкт-Петербург, Прима. 2012. 268 с.
6. Клещев А. А., Ключкин И. И. Основы гидроакустики. Ленинград, Судостроение. 1987.
7. Клещев А. А. Дифракция, излучение и распространение упругих волн. Санкт-Петербург, Профпринт. 2006. 160 с.
8. Ильменков С.Л., Клещев А.А., Кузнецова Е.И., Легуша Ф.Ф., Чижов Ю.В., Чижов Г.Ю. Рассеяние импульсного звукового сигнала вязко – упругими цилиндрическими слоями. XIV школа-семинар «Акустика океана» и XXVI сессии Российского Акустического Общества. Москва, 2014.
9. Клещев А. А., Легуша Ф. Ф., Маслов В. Л. Волновые процессы в твёрдых телах. Санкт-Петербург, Изд. центр СПбГМТУ, 2010. 216 с.
10. Клещев А. А. Дифракция звука от точечного источника на упругой цилиндрической оболочке. Акустический журнал, 2004. Т. 50. № 1. сс. 86 – 89.
11. Шендеров Е. Л. Волновые задачи гидроакустики. Ленинград, Судостроение. 1972. 352 с.
12. Шендеров Е. Л. Излучение и рассеяние звука. Ленинград, Судостроение. 1989. 304 с.
13. Kleshchev A. A. Scattering of Low – Frequency Pulsed Sound Signals from Elastic Cylindrical Shells. Acoustical Physics, 2011. V. 57. № 3. pp. 375 – 380.
14. S.L. Ilmenkov, A.A. Kleshchev, E.I. Kuznetsova, F.F. Legusha, Y.V. Chizhov, G.Y. Chizhov. Investigation of Characteristics of the Reflection of Stationary and Pulse Sound from Viscous-Elastic Cylindrical Layers. International Journal of Physics, 2013, V. 1, № 5, pp. 101-105.

References

1. Morz F., Feshbakh G. Metody teoreticheskoy fiziki [Methods of theoretical physics]. Moscow, Inostrannaya literatura , 1958. v.1, 1960. v. 2.
2. Khyonl Kh., Maue A., Vestpfal K. Teoriya difrakcii [Theory of diffraction]. Moscow, Mir, 1964. 428 p.
3. Metsaveer Ya. A., Veksler N. D., Stulov A. S. Difrakciya akusticheskikh impulsov na uprugikh telakh [Diffraction of acoustic pulses on elastic bodies]. Moscow, 1979.
4. Veksler N. D. Informacionnye problemy gidroakustiki [Information problems of hydroacoustics]. Tallinn, Valgus. 1982.
5. Kleshchev A. A. Gidroakusticheskie rasseivateli [Hydroacoustic scatterers]. 2 izd. Saint_Petersburg, Prima. 2012. 268 p.
6. Kleshchev A. A., Klyukin I. I. Osnovy gidroakustiki [Fundamentals of hydroacoustics]. Leningrad, Sudostroenie. 1987.
7. Kleshchev A. A. Difrakciya, izluchenie i rasprostranenie uprugikh voln [Diffraction, radiation and propagation of elastic waves]. Saint_Petersburg, Profprint. 2006, 160 p.
8. Ilmenkov S.L., Kleshchev A.A., Kuzneczoa E.I., Legusha F.F., Chizhov Yu.V., Chizhov G.Yu. Rasseyaniye impulsnogo zvukovogo signala vyazko – uprugimi cilindricheskimi sloyami [Scattering of the pulse sound signal is viscous – elastic cylindrical layers]. XIV school-seminar "Acoustics of ocean" and the XXVI session of the Russian Acoustical Society, Moscow, 2014.
9. Kleshchev A. A., Legusha F. F., Maslov V. L. Volnovye processy v tvyordykh telakh [Wave processes in solids]. Saint-Petersburg, Ed. center Spbgmtu, 2010. 216 p.
10. Kleshchev A. A. Difrakciya zvuka ot tochechnogo istochnika na uprugoy cilindricheskoy obolochke [Diffraction of sound from a point source on an elastic cylindrical shell]. Acoustical journal, 2004. T. 50. № 1. pp. 86 – 89.
11. Shenderov E. L. Volnovye zadachi gidroakustiki [Wave tasks of hydroacoustics]. Leningrad, Sudostroenie, 1972. 352 p.
12. Shenderov E. L. Izluchenie i rasseyaniye zvuka [Radiation and scattering of sound]. Leningrad, Sudostroenie , 1989. 304 p.
13. Kleshchev A. A. Scattering of Low – Frequency Pulsed Sound Signals from Elastic Cylindrical Shells. Acoustical Physics. 2011. V. 57. № 3. pp. 375 – 380.
14. S.L. Ilmenkov, A.A. Kleshchev, E.I. Kuznetsova, F.F. Legusha, Y.V. Chizhov, G.Y. Chizhov. Investigation of Characteristics of the Reflection of Stationary and Pulse Sound from Viscous-Elastic Cylindrical Layers. International Journal of Physics, 2013, Vol. 1, №. 5, pp. 101-105.

УДК 534.26

ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЖИДКОЙ СРЕДЫ НА ФАЗОВЫЕ СКОРОСТИ ТРЕХМЕРНЫХ ИЗГИБНЫХ ВОЛН В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ

Ильменков Сергей Львович

кандидат технических наук, доцент кафедры судовой автоматики и измерений
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
190008, Санкт-Петербург, ул. Лощманская, 3
e-mail: sl_ilmenkov@mail.ru

Аннотация

Исследования распространения, излучения и дифракции звуковых волн в упругих средах и телах опираются на общий математический аппарат. При рассмотрении гранично-контактных задач физические аспекты данных процессов также являются взаимосвязанными. В этой связи несомненный интерес представляет дальнейшее изучение различных типов упругих волн, распространяющихся в конструкциях и определяющих особенности характеристик излучения и рассеяния звука. Наиболее типичными элементами тел, контактирующих с жидкой средой, являются пластинчатые, стержневые и оболочечные конструкции. Распространение упругих волн в стержне, слое и оболочке описывается достаточно близкими между собой математическими моделями. В данной работе полученное ранее решение задачи о фазовых скоростях трёхмерных изгибных волн в полой цилиндрической оболочке трансформируется на случай заполнения оболочки жидкостью. Рассмотрено представление векторного потенциала в упругой изотропной цилиндрической оболочке через потенциалы Дебая. На основе такого подхода получены характеристические уравнения (как результат решения гранично-контактных задач) для волновых чисел трёхмерных изгибных волн, а в дальнейшем вычислены дисперсионные кривые фазовых скоростей этих волн. Проведен сравнительный анализ дисперсионных кривых фазовых скоростей различных мод стальных и алюминиевых оболочек, заполненных жидкостью, с такими же кривыми для полых оболочек тех же толщин.

Ключевые слова: упругая цилиндрическая оболочка, внутренняя жидкая среда, фазовые скорости изгибных волн.

THE INFLUENCE OF INTERNAL FLUID FOR PHASE VELOCITIES OF THREE-DIMENSIONAL FLEXURAL WAVES IN A CYLINDRICAL SHELL

Ilmenkov Sergey Lvovich

the associate professor, Cand.Sci.Tech.,

the associate professor of department of marine automation and measurement

State marine technical university of Saint-Petersburg

Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation

e-mail: sl_ilmenkov@mail.ru

Abstract

Study of propagation, radiation, and diffraction of sound waves in elastic media and bodies relies based on a common mathematical apparatus. When considering the boundary-contact problems of the physical aspects of these processes are also interrelated. In this regard, of great interest is the further study of different types of elastic waves propagating in structures and the defining features the characteristics of radiation and scattering of sound. The most typical elements of bodies, in contact with the liquid medium, are the plate, the core and shell construction. The propagation of elastic waves in the rod layer and the shell is described close between mathematical models. In this work, the previously obtained solution of the phase velocities of three-dimensional Flexural waves in a hollow cylindrical shell converted in case of filling of the shell fluid. The considered representation of the vector potential in the elastic

isotropic cylindrical shell through the capability Debye. Based on this approach the characteristic equation (as the result of the solution of boundary-contact problems) for the wave number of three-dimensional Flexural waves, and further calculated the dispersion curves of phase velocities of these waves. Comparative analysis of dispersion curves of phase velocities of different modes of steel and aluminium shells filled with fluid, with the same curves for the hollow shells of the same thicknesses.

Key words: elastic cylindrical shell, the inner liquid medium, the phase velocity of the Flexural waves.

Введение

Математические модели распространения упругих волн в упругих стержнях и оболочках весьма схожи. Гранично-контактная задача для оболочки отличается от аналогичной для стержня появлением дополнительной граничной поверхности, что приводит к дополнительным неизвестным коэффициентам, которые определяются из дополнительных граничных условий. С другой стороны, волновые процессы в оболочке на высоких частотах мало чем отличается от таких же процессов в слое.

В данной работе вслед за [1-4] (где рассмотрено решение задачи для полой оболочки) изучаются фазовые скорости упругих волн в изотропной цилиндрической оболочке, заполненной жидкостью. Как и ранее [4-6], обратимся к строгому решению задачи, что и составляет новизну данного исследования, базирующегося на использовании уравнений динамической теории упругости и потенциалов Дебая.

1. Постановка задачи

По теореме Гельмгольца вектор смещения **u** упругой оболочки, как известно, может быть представлен в виде комбинации скалярного Φ и векторного **A** потенциалов:

$$u = -grad\Phi + rot\mathbf{A}; \tag{1}$$

при $div\mathbf{A} = 0$;

где Φ - скалярный потенциал, характеризующий смещения, вызванные изменением объема;

A - векторный потенциал, описывающий смещения вихревого типа.

В основе рассматриваемого решения лежит использование скалярных потенциалов Дебая [5-7], через которые выражается векторный потенциал **A**:

$$\mathbf{A} = -rotrot(\mathbf{R}U) + ikrot(\mathbf{R}V); \tag{2}$$

где **R** - радиус-вектор точки наблюдения, U и V - потенциалы Дебая; k - волновое число изгибной волны;

Сами потенциалы U и V подчиняются скалярным уравнениям Гельмгольца, в которых переменные в круговой цилиндрической системе координат разделяются:

$$(\Delta + k^2)U = 0;$$

(3)

$$(\Delta + k^2)V = 0; \tag{4}$$

В соответствии с этим разложения скалярных потенциалов Φ , U и V примут следующий вид [3-5]:

$$\left. \begin{aligned} \Phi &= e^{ikz} \sum_{m=0}^{\infty} \cos m\varphi [A_m J_m(h'r) + B_m N_m(h'r)]; \\ V &= e^{ikz} \sum_{m=0}^{\infty} \cos m\varphi [C_m J_m(\kappa'r) + D_m N_m(\kappa'r)]; \\ U &= e^{ikz} \sum_{m=1}^{\infty} \sin m\varphi [E_m J_m(\kappa'r) + F_m N_m(\kappa'r)]; \end{aligned} \right\} \tag{5}$$

где $h' = (h^2 - k^2)^{1/2}$; $\kappa' = (\kappa^2 - k^2)^{1/2}$; $N_m(h'r)$ - цилиндрическая функция Неймана; $A_m, B_m, C_m, D_m, E_m, F_m$ - неизвестные коэффициенты, определяемые из граничных условий на внешней ($r = a$) и внутренней ($r = b$) поверхностях оболочки.

Для полой оболочки, находящейся в вакууме, граничные условия, заключающиеся в отсутствии напряжений на обеих поверхностях оболочки, принимают вид [1-4]:

$$(\lambda + 2\mu) \frac{\partial U_r}{\partial r} + \lambda \left[\frac{1}{r} \frac{\partial U_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} U_r + \frac{\partial U_z}{\partial z} \right] \Bigg|_{r=a}^{r=b} = 0; \tag{6}$$

$$\frac{\partial U_\varphi}{\partial r} + \frac{1}{r} U_\varphi + \frac{1}{r} \frac{\partial U_r}{\partial \varphi} \Bigg|_{r=a}^{r=b} = 0;$$

(7)

$$\frac{\partial U_r}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial r} \Bigg|_{r=a}^{r=b} = 0;$$

(8)

где λ и μ - постоянные Ламе U_r, U_φ, U_z - компоненты вектора смещения упругой оболочки.

Из граничных условий (6) - (8) получаем [2-4, 8-9] определитель 6-го порядка для волновых чисел моды m трёхмерных изгибных волн в полой цилиндрической оболочке произвольной толщины с внешним радиусом a и внутренним b :

$$\begin{vmatrix} a_{11}a_{12}a_{13}a_{14}a_{15}a_{16} \\ a_{21}a_{22}a_{23}a_{24}a_{25}a_{26} \\ a_{31}a_{32}a_{33}a_{34}a_{35}a_{36} \\ a_{41}a_{42}a_{43}a_{44}a_{45}a_{46} \\ a_{51}a_{52}a_{53}a_{54}a_{55}a_{56} \\ a_{61}a_{62}a_{63}a_{64}a_{65}a_{66} \end{vmatrix} = 0; \quad (9)$$

где $a_{11} = -(\lambda + 2\mu) J_m^{11}(h^1 a) + \lambda[a^{-2} m^2 J_m(h^1 a) - a^{-1} J_m^1(h^1 a) + k^2 J_m(h^1 a)];$

$a_{12} = -(\lambda + 2\mu) N_m^{11}(h^1 a) + \lambda[a^{-2} m^2 N_m(h^1 a) - a^{-1} N_m^1(h^1 a) + k^2 N_m(h^1 a)];$

$a_{13} = (\lambda + 2\mu)\{-i\chi m^2 [J_m(\chi^1 a) - J_m^1(\chi^1 a)] + i\chi J_m^{11}(\chi^1 a) + i\chi k^2 [J_m(\chi^1 a) + a J_m^1(\chi^1 a)] + \lambda\{i\chi a^{-2} J_m(\chi^1 a)(m^2 + k^2) - i\chi a^{-1} J_m^1(\chi^1 a)(m^2 + k^2) - 2i\chi k^2 J_m(\chi^1 a) - i\chi J_m^{11}(\chi^1 a)\};$

$a_{14} = (\lambda + 2\mu)\{-i\chi m^2 [N_m(\chi^1 a) - N_m^1(\chi^1 a)] + i\chi N_m^{11}(\chi^1 a) + i\chi k^2 [N_m(\chi^1 a) + a N_m^1(\chi^1 a)] + \lambda\{i\chi a^{-2} N_m(\chi^1 a)(m^2 + k^2) - i\chi a^{-1} N_m^1(\chi^1 a)(m^2 + k^2) - 2i\chi k^2 N_m(\chi^1 a) - i\chi N_m^{11}(\chi^1 a)\};$

$a_{15} = 2(\lambda + 2\mu)(a^{-2} - 1)ikm J_m(\chi^1 a);$

$a_{16} = 2(\lambda + 2\mu)(a^{-2} - 1)ikm N_m(\chi^1 a);$

$a_{21} = -(\lambda + 2\mu) J_m^{11}(h^1 b) + \lambda[b^{-2} m^2 J_m(h^1 b) - b^{-1} J_m^1(h^1 b) + k^2 J_m(h^1 b)];$

$a_{22} = -(\lambda + 2\mu) N_m^{11}(h^1 b) + \lambda[b^{-2} m^2 N_m(h^1 b) - b^{-1} N_m^1(h^1 b) + k^2 N_m(h^1 b)];$

$a_{23} = (\lambda + 2\mu)\{-i\chi m^2 [J_m(\chi^1 b) - J_m^1(\chi^1 b)] + i\chi J_m^{11}(\chi^1 b) + i\chi k^2 [J_m(\chi^1 b) + b J_m^1(\chi^1 b)] + \lambda\{i\chi b^{-2} J_m(\chi^1 b)(m^2 + k^2) - i\chi b^{-1} J_m^1(\chi^1 b)(m^2 + k^2) - 2i\chi k^2 J_m(\chi^1 b) - i\chi J_m^{11}(\chi^1 b)\};$

$a_{24} = (\lambda + 2\mu)\{-i\chi m^2 [N_m(\chi^1 b) - N_m^1(\chi^1 b)] + i\chi N_m^{11}(\chi^1 b) + i\chi k^2 [N_m(\chi^1 b) + b N_m^1(\chi^1 b)] + \lambda\{i\chi b^{-2} N_m(\chi^1 b)(m^2 + k^2) - i\chi b^{-1} N_m^1(\chi^1 b)(m^2 + k^2) - 2i\chi k^2 N_m(\chi^1 b) - i\chi N_m^{11}(\chi^1 b)\};$

$a_{25} = 2(\lambda + 2\mu)(b^{-2} - 1)ikm J_m(\chi^1 b);$

$a_{26} = 2(\lambda + 2\mu)(b^{-2} - 1)ikm N_m(\chi^1 b);$

$a_{31} = 2ma^{-1}[J_m^1(h^1 a) - a^{-1} J_m(h^1 a)];$

$a_{32} = 2ma^{-1}[N_m^1(h^1 a) - a^{-1} N_m(h^1 a)];$

$a_{33} = i\chi m\{J_m(\chi^1 a)[a^{-2}(2 - m^2) - k^2] - J_m^{11}(\chi^1 a) - a^{-1} J_m^1(\chi^1 a)\};$

$a_{34} = i\chi m\{N_m(\chi^1 a)[a^{-2}(2 - m^2) - k^2] - N_m^{11}(\chi^1 a) - a^{-1} N_m^1(\chi^1 a)\};$

$a_{35} = ikJ_m^1(\chi^1 a)a\chi^2; \quad a_{36} = ikN_m^1(\chi^1 a)a\chi^2;$

$a_{41} = 2mb^{-1}[J_m^1(h^1 b) - b^{-1} J_m(h^1 b)];$

$a_{42} = 2mb^{-1}[N_m^1(h^1 b) - b^{-1} N_m(h^1 b)];$

$a_{43} = i\chi m\{J_m(\chi^1 b)[b^{-2}(2 - m^2) - k^2] - J_m^{11}(\chi^1 b) - b^{-1} J_m^1(\chi^1 b)\};$

$a_{44} = i\chi m\{N_m(\chi^1 b)[b^{-2}(2 - m^2) - k^2] - N_m^{11}(\chi^1 b) - b^{-1} N_m^1(\chi^1 b)\};$

$a_{45} = ikJ_m^1(\chi^1 b)b\chi^2; \quad a_{46} = ikN_m^1(\chi^1 b)b\chi^2;$

$a_{51} = -2ik J_m^1(h^1 a); \quad a_{52} = -2ik N_m^1(h^1 a);$

$a_{53} = -k\chi[J_m(\chi^1 a)(m^2 + a^{-1}k^2) + 5 J_m^1(\chi^1 a) + aJ_m^{11}(\chi^1 a)];$

$a_{54} = -k\chi[N_m(\chi^1 a)(m^2 + a^{-1}k^2) + 5 N_m^1(\chi^1 a) + aN_m^{11}(\chi^1 a)];$

$a_{55} = \chi^2 m [a^{-1} J_m(\chi^1 a) - J_m^1(\chi^1 a)];$

$a_{56} = \chi^2 m [a^{-1} N_m(\chi^1 a) - N_m^1(\chi^1 a)];$

$a_{61} = -2ik J_m^1(h^1 b); \quad a_{62} = -2ik N_m^1(h^1 b);$

$a_{63} = -k\chi[J_m(\chi^1 b)(m^2 + b^{-1}k^2) + 5 J_m^1(\chi^1 b) + bJ_m^{11}(\chi^1 b)];$

$a_{64} = -k\chi[N_m(\chi^1 b)(m^2 + b^{-1}k^2) + 5 N_m^1(\chi^1 b) + bN_m^{11}(\chi^1 b)];$

$a_{65} = \chi^2 m [b^{-1} J_m(\chi^1 b) - J_m^1(\chi^1 b)];$

$a_{66} = \chi^2 m [b^{-1} N_m(\chi^1 b) - N_m^1(\chi^1 b)];$

где: $h^1 = (h^2 - k^2)^{1/2}; \quad \chi^1 = (\chi^2 - k^2)^{1/2}; \quad h$ - волновое число продольной волны в материале оболочки; $J_m(h^1 r)$ - цилиндрическая функция Бесселя; $N_m(h^1 r)$ - цилиндрическая функция Неймана.

Приравнивая определитель (9) нулю и раскрывая его, получаем характеристическое уравнение для волновых чисел моды m трёхмерных изгибных волн в изотропной цилиндрической оболочке произвольной толщины.

Для определения влияния внутренней жидкой среды с плотностью ρ на дисперсионные кривые фазовых скоростей оболочки к определителю 6-го порядка добавляется столбец и строка, и он превращается в определитель 7-го порядка. Потенциал Φ звукового поля внутри оболочки ($r < b$) раскладывается в ряд по цилиндрическим функциям [3,4]:

$$\Phi(r, \varphi, z) = e^{ikz} \sum_{m=0}^{\infty} A_m J_m(\gamma r) \cos m\varphi; \quad (10)$$

где $\gamma = \sqrt{(\omega/c)^2 - k^2}$; c - скорость звука в жидкой среде.

Составляющая волнового вектора вдоль оси $z \Rightarrow k$ такая же, как и в оболочке, в силу закона Снеллиуса.

При этом граничные условия (6) для нормального напряжения на внутренней поверхности

сти оболочки ($r = b$) трансформируются следующим образом:

$$(\lambda + 2\mu) \frac{\partial U_r}{\partial r} + \lambda \left[\frac{1}{r} \frac{\partial U_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} U_r + \frac{\partial U_z}{\partial z} \right] + \omega^2 \rho \Phi \Big|_{r=b} = 0; \quad (1)$$

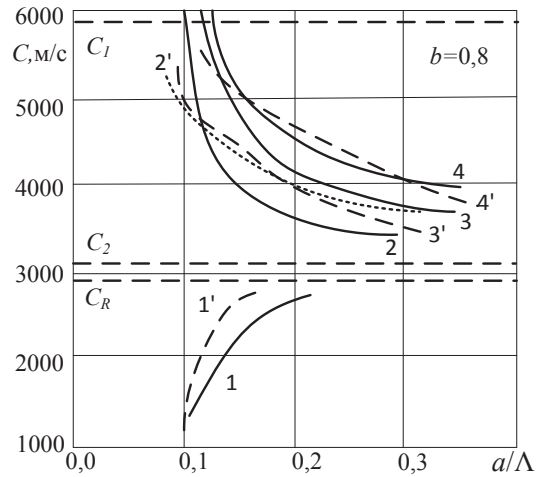
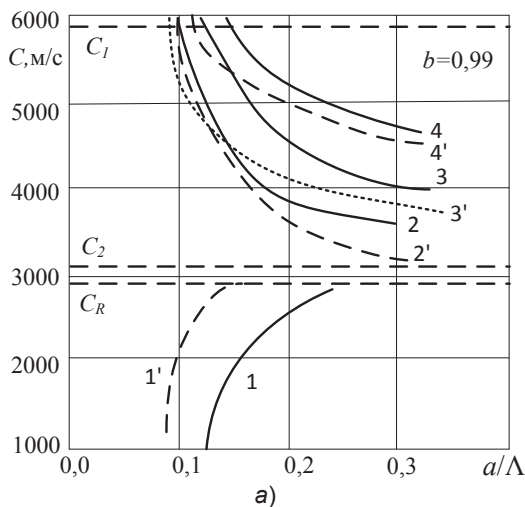
Добавится еще одно граничное условие: на внутренней поверхности оболочки ($r=b$) нормальные компоненты вектора смещения в оболочке и в жидкости непрерывны.

Раскрывая определитель седьмого порядка, получим характеристическое уравнение для волновых чисел трёхмерных изгибных волн оболочки с учетом ее внутреннего заполнения жидкой средой.

2. Анализ результатов решения

Результаты решения этого уравнения в виде дисперсионных кривых фазовых скоростей изгибных волн для мод $m = 1; 2; 3; 4$ (кривые №№ 1', 2', 3', 4') представлены на рис.1 (для стальной оболочки) и рис.2 (для алюминиевой). Внешний радиус оболочек $a = 1,0$; внутренний имел два значения: $b = 0,99$ и $b = 0,8$; Λ - длина продольной волны в материале оболочки: $\Lambda = C_1/f$; C_1 - скорость этой волны; f - частота, Гц.

Вычисленные значения фазовой скорости заполненных оболочек сравнивались с соответствующими значениями для полой оболочки (кривые №№ 1, 2, 3, 4).



б)
Рис. 1. Фазовые скорости трехмерных изгибных волн в полой (1, 2, 3, 4) и заполненной жидкостью (1', 2', 3', 4) стальной оболочке: а) $b=0,99$; б) $b=0,8$.

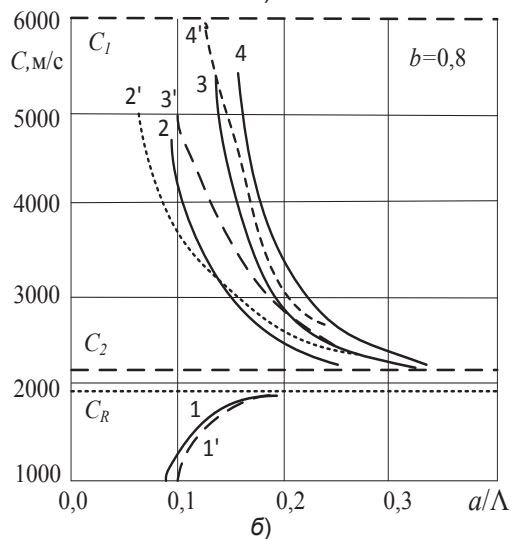
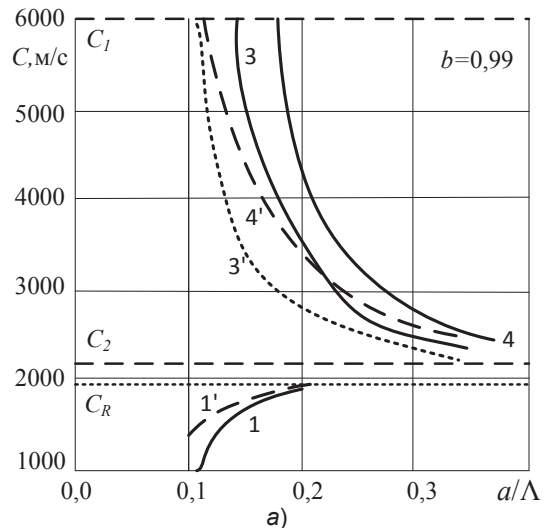


Рис. 2. Фазовые скорости трехмерных изгибных волн

в полой (1,2,3,4) и заполненной жидкостью (1',2',3',4') алюминиевой оболочке: а) $b=0,99$; б) $b=0,8$.

Из графиков видно, что значения фазовой скорости нулевой моды изгибной волны ($m = 1$) с ростом волнового радиуса оболочки асимптотически стремятся к скорости волны Рэлея C_R , а для ненулевых мод ($m = 2, 3, 4$) - к значениям скоростей поперечных волн C_2 в материале оболочек. Наличие заполнения в целом соответствует увеличению толщины оболочки за счет присоединенной массы жидкости. При этом отмеченная тенденция изменения фазовых скоростей в большей степени проявляется для оболочки с меньшей относительной толщиной ($b = 0,99$).

В отличие от рассмотренного решения при получении характеристического уравнения для волновых чисел осесимметричных изгибных волн с учетом внутреннего заполнения оболочки схема решения несколько упрощается. В

этом случае за основу берется определитель четвертого порядка и путем добавления к нему одного столбца и одной строки он преобразуется соответственно в определитель пятого порядка.

Заключение

В результате выполненного исследования найдено характеристическое уравнение для волновых чисел трехмерных изгибных волн (с использованием потенциалов Дебая) в изотропной цилиндрической оболочке, заполненной жидкостью.

Получен определитель для расчета дисперсионных кривых фазовых скоростей таких волн с учетом влияния внутренней жидкой среды.

Выполнен сравнительный анализ этих кривых для нескольких мод изгибной волны для полых и заполненных жидкостью цилиндрических оболочек (стальной и алюминиевой) различной толщины.

Литература

15. Kleshchev A.A. Against the Phase Velocities of Flexural Waves in Cylindrical Shell. Journal of Technical Acoustics, 1997, v.3, № 4, pp.16-19.
16. Ильменков С.Л., Клещёв А.А. Фазовые скорости трёхмерных изгибных волн в изотропной цилиндрической оболочке произвольной толщины (строгое решение). Сборник трудов XI сессии Российского акустического общества. Москва, ГЕОС, т.1, 2001, сс.239-241.
17. Ilmenkov S.L., Kleshchev A.A. Phase Velocities of Three-Dimensional and Axis-Symmetrical Elastic Waves in Isotropic Cylindrical Shell. International Journal of Theoretical and Mathematical Physics 2012, 2(6), pp.196-202.
18. Ильменков С.Л., Клещёв А.А., Клубина К.А. Вычисление фазовых скоростей трехмерных изгибных волн в изотропных цилиндрических стержнях и оболочках с помощью потенциалов Дебая и «типа Дебая». Акустический журнал, 2015, т.61, №1, сс.3-9.
19. Клещёв А.А. Дифракция и распространение волн в упругих средах и телах. Санкт-Петербург, Влас, 2002, 156 с.
20. Клещёв А.А. Дифракция, излучение и распространение упругих волн. Санкт-Петербург, Профпринт, 2006, 160 с.
21. Debye P. Das Verhalten von Lichtwellen in der Nahe eines Brennpunktes oder Brennline. Ann. Physik, 1909, v.30, № 4, pp. 755-776.
22. Ильменков С.Л. Акустический расчёт фазовых скоростей волн в конструкциях, применяемых на транспорте. Морские интеллектуальные технологии. №1(23), т.2, 2014, сс.32-36.
23. Ilmenkov S.L., Kleshchev A.A. Phase velocities of zero and nonzero modes of flexural waves of elastic infinite cylindrical shell. Journal of Technical Acoustics, 1999, v.4, №1, pp.18-20.

References

1. Kleshchev A.A. Against the Phase Velocities of Flexural Waves in Cylindrical Shell. Journal of Technical Acoustics, 1997, v.3, № 4, pp.16-19.
2. Ilmenkov S.L., Kleshchev A.A. Fazovye skorosti tryokhmernykh izgibnykh voln v izotropnoy cilindricheskoy obolochke proizvolnoy tolshchiny (strogoe reshenie) [The phase velocities of three-dimensional Flexural waves in isotropic a cylindrical shell of arbitrary thickness (strict decision). Proceedings of the XI session of the Russian acoustical society]. Moscow, GEOS, v.1, 2001, pp.239-241.
3. Ilmenkov S.L., Kleshchev A.A. Phase Velocities of Three-Dimensional and Axis-Symmetrical Elastic Waves in Isotropic Cylindrical Shell. International Journal of Theoretical and Mathematical Physics 2012, 2(6), pp.196-202.
4. Ilmenkov S.L., Kleshchev A.A., Klyubina K.A. Vychislenie fazovykh skorostey trekh-mernykh izgibnykh voln v izotropnykh cilindricheskikh sterzhnyakh i obolochkakh s pomoshchyu potencialov Debaya i «tipa Debaya» [Computation of phase velocities of three-dimensional Flexural waves in

- isotropic cylindrical rods and shells using Debye and "Debye's type " potentials]. Acoustical journal, 2015, v.61, №1, pp.3-9.
5. Kleshchev A.A. Difrakciya i rasprostranenie voln v uprugikh sredakh i telakh [Diffraction and propagation of waves in elastic mediums and bodies]. Saint-Petersburg, Vlas, 2002, 156 p.
 6. Kleshchev A.A. Difrakciya, izluchenie i rasprostranenie uprugikh voln [Diffraction, radiation and propagation of elastic waves]. Saint-Petersburg, Profprint, 2006. 160 p.
 7. Debye P. Das Verhalten von Lichtwellen in der Nahe eines Brennpunktes oder Brennlne. Ann. Physik. 1909, v.30, № 4, pp. 755-776.
 8. Ilmenkov S.L. Akusticheskiy raschyot fazovykh skorostey voln v konstrukciyakh, primenyaemykh na transporte [Acoustic calculation of phase velocities of waves in structures used in transport]. Marine intellectual technologies, №1(23), v.2, 2014, pp.32-36.
 9. Ilmenkov S.L., Kleshchev A.A. Phase velocities of zero and nonzero modes of flexural waves of elastic infinite cylindrical shell. Journal of Technical Acoustics, 1999, v.4, №1, pp.18-20

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 658.3.07

**МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ПЕРСОНАЛА ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ
ЕЕ АКСИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК****Дмитрий Алексеевич Скороходов**

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории проблем безопасности транспортных систем
Института проблем транспорта им. Н.С.Соломенко Российской академии наук
199178, Санкт-Петербург, В.О. 12 линия, 13
тел. (812) 323-29-54 e-mail: skorohodovda@mail.ru

Марин Любенов Маринов

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории проблем безопасности транспортных систем
Института проблем транспорта им. Н.С.Соломенко Российской академии наук
199178, Санкт-Петербург, В.О. 12 линия, 13
тел. (812) 321-95-68 e-mail: marinlomsky@gmail.com

Комашинский Владимир Ильич

доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе
Института проблем транспорта им. Н.С.Соломенко Российской академии наук
199178, Санкт-Петербург, В.О. 12 линия, 13
тел. (812) 321-95-68 e-mail: kama54@rambler.ru

Аннотация

Современные исследования все чаще подтверждают, что именно человек со своим поведением, в основе которого лежит бесконечно повторяющийся процесс принятия решения, является определяющим фактором в создающихся критических ситуациях и последней инстанцией в процессе их развития до аварийного состояния! В процессе исследования человеческого влияния на безопасность и эффективность профессиональной деятельности следует отметить, что понятие «человеческий фактор» является слишком широким и обобщающим и использовать его для объективной оценки профессиональной деятельности невозможно. При рассмотрении влияния человеческого фактора на безопасность деятельности не учитывается влияние самых мощных и устойчивых факторов поведения человека, не зависящих от его текущего состояния, конкретных условий и продолжительности работы: мораль, воля и интерес. Если охватить все аспекты понятия «человеческий фактор» то становится ясным, что только человеческое поведение, являющейся результатом принимаемых во всех жизненных ситуациях решений, отвечает их смыслу. Но есть проблема, оценка кадров и их решений сейчас проводится по критериям: образование, социальный статус, возраст, профессиональный опыт, профессионально важные качества, личностные и психофизиологические особенности (темперамент, характер, качества, способности, направленность личности). Эти критерий не отражают ни степень проявленного интереса, ни силы воли, ни нравственного содержания человека. Сейчас, при оценке качества профессиональной деятельности, стараются получить суждений о том: „Что человек может?“, но в то же самое время нет никаких суждений о том: „Что это за человек?„

В статье раскрыт метод анализа механизмов принятия решений транспортных специалистов и руководителей (ТС(ТР)), в интересах обеспечения безопасности и представлен вариант специального математического обеспечения комплексной оценки влияния профессиональных решений транспортных специалистов на безопасность функционирования транспортной системы и предлагаются решения по учета вышеупомянутых ключевых факторов.

Ключевые слова человеческий фактор, профессиональное поведение, безопасность, эффективность

**METHOD OF DIAGNOSIS OF THE PROFESSIONAL ACTIVITIES OF
STAFF TRANSPORT SYSTEMS, TAKING INTO ACCOUNT ITS AXIOLOGI-
CAL CHARACTERISTICS****Dmitry Alekseevich Skorokhodov**

Dr. Sci. Tech., the professor, Chief researcher of the laboratory of vehicle safety systems
Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences
199178, St. Petersburg, V.O. 12 line, 13
Tel. (812) 321-95-68 e-mail skorohodovda@mail.ru

Marinov Marin Lubenov

PhD, leading researcher of the laboratory of vehicle safety systems
Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences
199178, St. Petersburg, V.O. 12 line, 13
Tel. (812) 321-95-68 e-mail: marinlomsky@gmail.com

Komashinskij Vladimir Ilyich

Dr. Sci. Tech., the professor, Deputy Director on scientific work of the
Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences
199178, St. Petersburg, V.O. 12 line, 13
Tel. (812) 321-95-68 e-mail: kama54@rambler.ru

Abstract

Current research increasingly confirms that it is people with his behavior based on endlessly repeating the decision-making process, is a determining factor in the emerging critical situations and the final arbiter in their development process until the emergency condition! The study of the human impact on the safety and effectiveness of professional activity, it should be noted that the notion of "human factor" is too broad and generalized and use it for objective performance appraisal is impossible. When considering the influence of the human factor in the safety of the activity is not taken into account the influence of the most powerful and stable factors of human behavior that are not dependent on the current state of the project, specific conditions and duration of work: morale, commitment and interest. If you cover all aspects of the concept of "human factor" it becomes clear that the only human behavior resulting from measures taken in all life situations in their decisions. But there is a problem, score cadres and their decisions are now held by criteria: education, social status, age, professional experience, professionally important qualities, personality and psycho-physiological features (temperament, character, quality, ability, personality). These criteria reflect the degree of interest, no willpower, no moral content person. Now, if assessing the quality of professional activity, try to get the judgment: "that man can?", but at the same time there is no judgement: "what is this person?".

The article revealed a method of analysing the decision-making mechanisms of the transport specialists (TS) and managers (TR), in order to ensure security and introduced the option of special software for the integrated assessment of the impact of professional solutions for transport professionals on the safety operation of the transport system, and proposes solutions to the aforementioned accounting key factors.

Key words the human factor, professional conduct, safety, efficiency

Введение

Для проведения полноценного исследования механизмов принятия решений (МПР), транспортных специалистов (ТС) и транспортных руководителей (ТР) в интересах безопасности, приходится объединить в единую модель такие разнородные психологические, социологические, физиологические, медицинские, этические и философские категории как инстинкты, восприятия, чувства, ум, интеллект, личность, духовность, интуицию, воображение, идеи, мысли, мораль, волю, интерес и т. п. Большая часть всех перечисленных категорий характеризуется недостаточной исследованностью своей природы и является объектом исследования различных направлений науки. Для выхода из этой ситуации разработан функционально-психодинамический метод диагностики профессиональной деятельности ТС и ТР. Метод заключается в создании единой модели анализа механизмов принятия решений с рассмотрением только функционального аспекта принятых психофизиологических характеристик и с акцентом на динамику их изменения и развития и на этой основе разработки новой проблемно-ориентированной системы контроля и управления качеством профессиональных решений [1-3].

1. Реализация метода диагностики профессиональной деятельности ТС (ТР)

Реализация метода диагностики профессиональной деятельности ТС и ТР характеризуется следующими шагами:

1. Разработка концептуальной модели анализа МПР.

2. Ситуационное моделирование механизмов принятия решения ТС и ТР в нормальных и экстремальных ситуациях.

3. Определение комплекса базовых и оперативных факторов влияющих на безопасность и успех профессиональных решений.

4. Выбор новой системы критериев и показателей комплексной оценки безопасности и успешности профессиональных решений с учетом их аксиологического аспекта.

5. Разработка современной концепции оптимизации безопасности транспортных систем с учетом влияния поведения ТС и ТР.

6. Разработка подхода, математического и программного обеспечения диагностики профессиональной деятельности персонала транспортной системы.

7. Разработка предложений по практическому приложению разработанной методологической концепции в системе транспортного образования.

Для объективной оценки профессиональной деятельности ТС и ТР разработан новый ком-

плекс критериев и показателей оценки профессиональных решений ТС и ТР в нормальных и экстремальных условиях.

Результаты проведенного ситуационного моделирования [4-6], и наблюдения показывают, что есть три базовых фактора безопасности человеческого поведения, которые отражают уровень духовно-личностного развития человека и в значительной мере определяют безопасность его конечных решений. Это – *воля, интерес и мораль*. Базовые факторы безопасности являются основополагающими моментами безопасности всего человеческого поведения и отличаются постоянством и инертностью. Поэтому быстрое и эффективное воздействие на них практически невозможно. Триада «мораль – воля – интерес» находится в единстве и взаимосвязи: если нет морали – воля и интерес ведут к небезопасным действиям; если нет воли – моральные интересы невозможно реализовать; если нет интереса – волю к моральным действиям нельзя приложить в жизни. Перечисленные факторы являются ключевыми факторами, предопределяющими дальнейшую мотивацию человеческого поведения во всех жизненных ситуациях. А факторы, которые сейчас считаются ведущими (когнитивные способности; физические качества; профессиональные знания и умения и психофизиологическая подготовка), на самом деле могут быть названы *второстепенными (оперативными) факторами*.

Независимо от данной классификации перечисленных факторов видно, что их надо рассматривать только в комплексе. Мораль, воля и интерес являются ключевыми факторами для обеспечения не только *безопасности* человеческого поведения, но и для достижения *успеха* они недостаточны. Только гармоничное развитие человека в моральном, волевом отношении и формирование его интересов, вместе с профессиональной, психологической и физической подготовкой, может являться хорошей основой для будущего успеха его действий. Для достижения высокой результативности и безопасности человеческих действий, *мораль* должна быть подкреплена разносторонними знаниями, опытом, культурой, верой и должна быть глубоко осмысленной, *воля* должна быть постоянной и должна приводить к *упорству*, а *интерес* должен быть высоким и должен приводить к *активности* [4,6].

Мораль человека является своеобразной рамкой, в которой могут проявляться свободная воля и разносторонние и изменчивые человеческие интересы, поэтому мораль является фундаментальным фактором безопасности человеческого поведения. Самое трудное сейчас то, как именно (по каким критериям и показателям) нужно оценивать что в профессиональном поведении является моральным и что нет [10].

Сейчас любая человеческая деятельность оценивается по критериям количество, качество достигнутого результата (произведенного продукта, услуги, действия) и прибыль (ущерб) для со-

вершителя или производителя. Подобная оценка достигнутых результатов содержит в себе оценку вложенной человеком воли и отражает проявленный им интерес, но в этой распространенной системе, полностью отсутствует самый важный аспект оценки человеческой деятельности – морально-нравственный аспект. Такая проблема существует во многом из-за того, что только небольшое количество из известных сейчас, моральных качеств человека можно оценить объективно. Оценка по показателям, связанным с моральными качествами, очень сложная, субъективная и, в конечном итоге, некорректная.

Для решения проблемы моральной оценки авторами предлагается новый подход, состоящий в объединении сейчас существующих критериев моральной оценки в трех глобальных моральных критериях: *критерий природосообразности* (выражающему отношению человека к природе); *критерий гуманности* (выражающему отношению человека к другим людям) и *критерий проявления долга и ответственности* (выражающий силы моральной убежденности человека). Такой подход сосредотачивает моральную оценку на этих трех, самых важных аспектах человеческого существования, значительно сокращает количество использованных показателей и упрощает дальнейшую методику оценки.

Единственным способом компенсировать неизбежную субъективность моральной оценки (оценка одному субъекту неизбежно будет ставиться другим субъектом), является сопоставление экспертных оценок с общественной (коллективной) оценкой. Этот факт предполагает подчинение процесса моральной оценки еще одному (четвертому) критерию – *критерию „коллективного (общественного) контроля“* (выражающему отношению общества к человеку).

Критерии природосоответствие, гуманность, чувства ответственности и долга, вместе с общественной (коллективной) оценкой, могут обеспечить оценку морально - нравственного аспекта действий специалистов транспортной отрасли. Но для полноценной *комплексной оценки* готовности специалистов к высоко профессиональным моральным действиям, этих критериев необходимо связать с критериями профессиональной, психофизиологической, волевой оценки и оценки интереса. Схема оценки влияния поведения специалистов и руководителей транспортной отрасли показаны на безопасности профессиональной деятельности на Рис. 1.

Эффект «комплексности» оценки поведения специалистов, обеспечивается введением перекрестных, связанных со стилем поведения, критериев – ответственность, воля и интерес, чьи показатели включены в группах показателей по каждому из выше предложенных четырех критериев (природосоответствие, гуманность, профессионализм и психофизиологическое состояние).

Мораль - это вектор сознательной, активной жизненной позиции человека и она тесно связана с чувством долга и высокой ответственностью

быть сознательным, моральным, духовным существом. Поэтому критерии оценки ответственности, должны отражать динамический (организационно-управленческий) аспект этичности человеческого поведения и, в частности, его способность отвечать за принятые решения, поступки и их последствия. *Смысл ответственности* - это определённая, надёжность, честность в отношении к себе и другим, это осознание и готовность отвечать за свои поступки. Ответственность включает в себя личную подотчетность и способность действовать в рамках этических норм на благо себя и окружающих. С ответственностью непосредственно связано чувство долга. *Долг* формулируется как специфический способ существования морали потому, что ни в какой другой форме не может обрести реальность та цель, на которую нацелена мораль. В этом смысле, долг воспринимается как способность постоянного морального бодрствования, выражающая серьёзность намерений человека по доведению его решений до получения положительного результата. В чувстве долга проявляется непрерывность ответственности.

Прямая оценка ответственности всегда очень субъективна и поэтому сейчас о ней говорят только в общем виде. Но есть так же косвенные, более конкретные показатели, которые очень хорошо демонстрируют отношение человека к своим решениям и действиям. Такими показателями могут быть: *способность к превентивным действиям, склонность предусматривать и создавать резервы, склонность к целесообразности и разумному риску, уровень дисциплинированности и состояние постоянной готовности к совершению действий в интересах сохранения человеческой жизни, Природы и техники.*

Характеризовать волю (упорство) могут такие показатели, как *постоянство и решительность*, а показателями, демонстрирующими наличие или отсутствие *интереса* и *активности*, могут быть *инициативность и неординарность*.

По предложенным критериям, можно оценить различные ситуации независимо от профессиональной специфики и психофизиологических особенностей оцениваемых специалистов.

Коллективная (общественная) оценка влияния поведения инспектируемых специалистов, может определяться путем психологического тестирования членов руководства, коллектива и подчиненных (с последующей обработкой результатов в зависимости от использованного метода) по тем же показателям, что и оценка эффективности влияния со стороны компетентных лиц. Такой подход разрешает использование более широкого инструментария из области статистики и учет объективных условий.

Чем выше уровни природосоответствия, гуманности, профессионализма, психофизиологической подготовки оцениваемого специалиста, с учетом его ответственности, воли, интереса и мнения коллектива - тем выше уровень безопас-

ности и успешности его профессиональной деятельности.

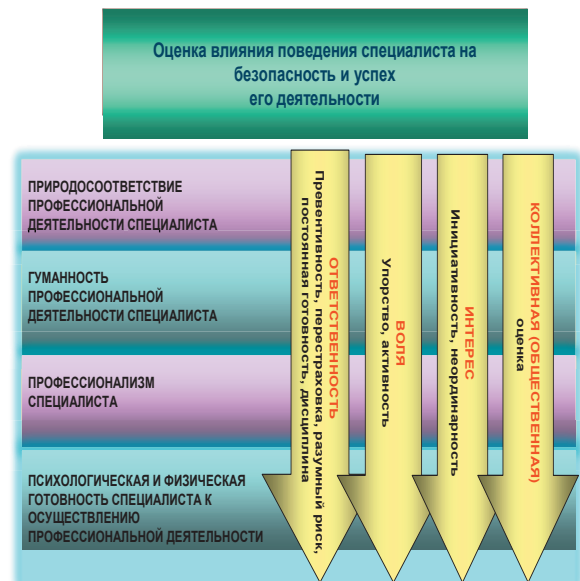


Рис. 1 Схема оценки влияния поведения специалистов и руководителей на безопасность профессиональной деятельности

2. Алгоритмы оценки профессиональной деятельности персонала ТСМ с учетом ее аксиологических характеристик

Для проведения интегральной оценки по всему множеству разработанных показателей, имеющих различную физическую природу, удобно использовать функцию желательности Харрингтона, которую в общем виде можно записать:

$$d = e^{-e^{-R}} \quad (1)$$

где d - значения шкалы желательности; R - значения кодированной шкалы параметра.

В основе построения функции Харрингтона лежит идея преобразования натуральных значений частных откликов в безразмерную шкалу желательности или предпочтения. Шкала желательности относится к психофизиологическим шкалам. Её назначение является установление соответствия между физическими и психологическими параметрами [7-8].

Здесь под физическими параметрами понимаются всевозможные отклики, характеризующие исследуемого субъекта по каждому отдельному параметру оценки.

Под психологическими параметрами понимаются чисто субъективные оценки лица, принимающего решение (эксперта или члена коллектива) предпочтительности того или иного значения отклика.

Чтобы получить шкалу желательности, удобно пользоваться таблицами соответствий между отношениями предпочтения в эмпирической и числовой системах (табл. 1).

Шкала желательности Харрингтона имеет ин-

тервал от нуля до единицы. Значение $P(x) = 0$ соответствует абсолютно неприемлемому уровню данного параметра управления, а значение $P(x) = 1,0$ соответствует самому лучшему значению параметра.

Функция желательности Харрингтона обладает следующими качествами:

- непрерывностью, гладкостью и монотонностью;
- адекватностью, статистической чувствительностью и эффективностью.

Вид функции соответствует реальным оценкам экспертов. Чувствительность функции, в областях близких к 0 и 1, существенно ниже, чем в средней зоне (под чувствительностью x функции принадлежности понимается отношение приращения по шкале предпочтений к вызвавшему его приращению по лингвистической шкале - шкале текущих значений признака).

Таблица 1

Субъективные оценки предпочтительности значения отклика	Отметки на шкале желательности	Значение отклика (параметра)
Очень хорошо	1,00 - 0,80	6
Хорошо	0,80 - 0,63	3
Удовлетворительно	0,63 - 0,37	0
Плохо	0,37 - 0,20	-3
Очень плохо	0,20 - 0,00	-6

Для кодированной шкалы параметра $R = [-5;5]$ функция Харрингтона графически показана на Рис. 2

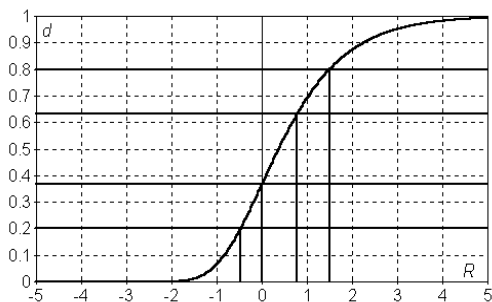


Рис. 2 Графическое представление функции желательности Харрингтона

На оси ординат нанесены значения эффективности, изменяющиеся от 0 до 1,0. По оси абсцисс указаны значения отклика (параметра).

Из рисунка видно, что функция непрерывна, гладка и монотонна во всей области определения, ее чувствительность в средней зоне $x_{cp} = (0,7-0,36)/(1-0) = 0,34$, а в крайней: $x_{кр} = (0,99-0,98)/(5-4) = 0,01$, т.е. существенно ниже, что соответствует характеру реальных оценок экспертов.

Характерными точками кривой являются точки перегиба:

$$d(0) = 1/e \approx 0,37 \tag{2}$$

$$d(0,78) \approx 1 - 1/e \approx 0,63 \tag{3}$$

В Таблице 2, для различных значений оцениваемых экспертами показателей представлены отклики в виде чисел, соответствующих некоторым точкам кривой (рис. 3), которая задается уравнением.

$$P(x) = \exp(-\exp(-x)) \tag{4}$$

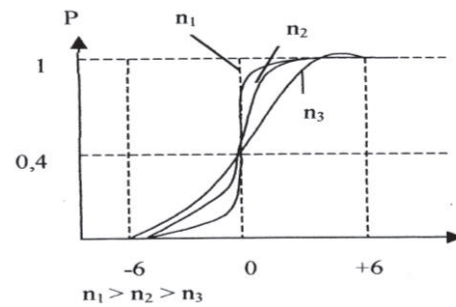


Рис. 3 Характер изменения функции Харрингтона в зависимости от числа интервалов шкалы параметра

Таблица 2

Значение показателя	Отметки на шкале
Отличное	+6
Очень хорошее	+3
Хорошее	+1
Удовлетворительное	0
Неудовлетворительное	-1
Очень плохое	-3
Недопустимое	-6

За начало отсчета 0 по этой оси выбрано значение, соответствующее желательности 0,37. Выбор именно этой точки связан с тем, что она является точкой перегиба кривой, что в свою очередь создает определенные удобства при вычислениях. То же самое верно для значения желательности, соответствующего 0,63.

Значения на кодированной шкале параметра принято выбирать от 3 до 6. Выбор числа интервалов n_i определяет крутизну кривой в средней зоне. Естественно, возникает вопрос, на каком основании устанавливаются границы допустимых значений для выходных параметров. В нашем случае эксперт всегда должен обладать информацией об x_{min} и x_{max} . Тогда отметка на шкале желательности $P(x) = 0,37$ будет соответствовать x_{min} .

В соответствии с этим функция Харрингтона может быть преобразована в функцию желательности с положительным инградиентом

$$P(x) = \exp(-\exp(-kx)) \tag{5}$$

где $k = \frac{6}{x_{max}}$.

или с отрицательным инградиентом

$$P(x) = \exp(-\exp(-k(x_{\max} - x))) \quad (6)$$

где

$$k = \frac{6}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (7)$$

Для определения коэффициента весомости каждого показателя используется „метод парных сравнений”. При этом строится матрица коэффициентов важности (таблица 3).

Таблица 3

x_{rj}	x_r	x_r	x_r	x_r	x_r	...	x_r	...	x_r	$\sum \gamma_j$	λ_i
	1	2	3	4	5		j		m		
x_{r1}	0	2	2	2	2		2		0	10	0,28
x_{r2}	1	0	0	0	1		1		1	4	0,084
x_{r3}	1	0	0	0	1		1			3	0,084
x_{r4}	1	0	0	0	1		1			3	0,084
x_{r5}	1	2	2	2	0		1			8	0,224
x_{r6}	1	2	2	2	2		0			9	0,252
x_r	1	0	0	0	1	1	0	3	0,084
\sum										56	1,000

В первом вертикальном столбце записываются условные номера показателей оценки действий специалиста - в количестве i строк. В первой горизонтальной строке записываются также условные наименования показателей в количестве j столбцов ($j = i$).

Предпоследний и последний столбцы предназначены для подсчета абсолютных и нормированных коэффициентов важности. Далее каждый элемент (показатель) строки поочередно сравнивается (экспертом) со всеми элементами (показателями) столбцов. При этом если показатель более важен, то в клетку таблицы ставится число 2, если менее важен – 1, если показатели одинаковы по важности – 0. Поэтому по диагонали матрицы всегда будут нули, т.к. в строке и в столбце указан один и тот же показатель.

Весовые коэффициенты показателей получают путем сложения чисел в строке, а нормированные весовые коэффициенты получают в соответствии с формулой

$$\lambda_i = \frac{\sum_{j=1}^m \gamma_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \gamma_{ij}} \quad (8)$$

где: m – количество оцениваемых показателей;

i – номер строки;

j – номер столбца;

γ_{ij} - число в ij ячейке.

т.е. значение весового коэффициента показателя, указанное в предпоследнем столбце, делится на сумму значений весовых коэффициентов всех показателей.

Оценка специалиста по каждому комплексному критерию (уровню природосоответствия, уровню гуманности профессионального поведения, уровню профессионализма и уровню психологической и физической готовности к осуществлению профессиональной деятельности), будет выполняться путем суммирования оценок по частным показателям с учетом значения их ко-

эффициентов весомости в соответствии с формулой:

$$P_{Kg} = \sum_i^m \lambda_i P(x_i) \quad (9)$$

где P_{Kg} – суммарная оценка по всем i показателям (от 1 до m) для g -ого критерия;

$P(x_i)$ – оценка i показателя;

λ_i - весовой коэффициент i -ого показателя.

Оценка влияния поведения специалистов на качество их профессиональной деятельности, рекомендуется осуществляться экспертной группой с учетом мнения коллектива, членом которого они являются. Возможный состав участников экспертизы представлен на рис. 4.

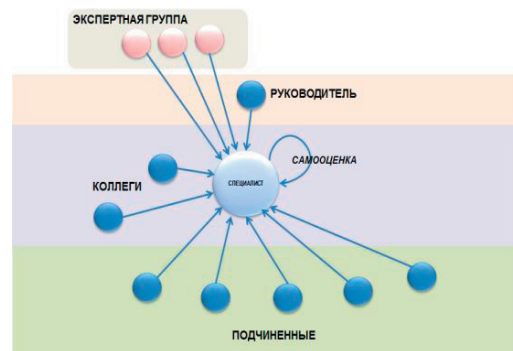


Рис. 4 Состав участников оценки профессионального поведения специалиста

Сочетание коллективной (общественной) оценки с компетентными (экспертными) оценками дает возможность для более полного и объективного анализа оцениваемого субъекта.

В этом случае, для оценки влияния поведения специалистов с учетом „общественного” (обозн. для краткости) мнения, предлагается использовать составной критерий, имеющий следующий вид:

$$P_{\text{сум.оц.}(крит)} = 0,5P_{\text{общ.оц.}(крит)} + 0,5P_{\text{экс.оц.}(крит)} \quad (10)$$

где: $P_{\text{сум.оц.}(крит)}$ - суммарное влияние поведения специалиста на безопасность и успешность профессиональной деятельности с учетом общественного мнения по каждому из критериев;

$P_{\text{общ.оц.}(крит)}$ - влияние поведения специалиста в соответствии с общественной оценкой;

$P_{\text{экс.оц.}(крит)}$ - влияние поведения специалиста по оценкам экспертов.

С целью повышения объективности рекомендуется, чтобы общественная оценка имела той же вес, что и оценка экспертов (коэффициент весомости $\lambda = 0,5$).

При расхождении между экспертной и коллективной (общественной) оценками более 25%, необходимо проводить общее или выборочное (на случайном принципе) интервьюирование членов коллектива для выяснения спорных моментов по отдельным показателям.

Оценка должна проводиться группами независимых экспертов, выбираемых на случайном

принципе, для каждой конкретной проверки [9].

Влияние поведения специалиста на безопасность и успешность профессиональной деятельности определяется как сумма функций эффективности поведения с учетом общественного мнения по каждому из критериев (уровень природосоответствия, уровень гуманности, уровень профессионализма, уровень физического и психологического состояния), с учетом их коэффициентов важности, по формуле:

$$P_{(общ.эфф.пс)} = \lambda_{отв} P_{сум(отв)} + \lambda_{вол} P_{сум(вол)} + \lambda_{инт} P_{сум(инт)} \quad (11)$$

где: $P_{(общ.эфф.пс)}$ - общая эффективность поведения специалиста по комплексу критериев с учетом общественного мнения;

$P_{сум(отв)}$ - суммарная эффективность поведения специалиста с учетом общественного мнения, по критерию „ответственность“;

$P_{сум(вол)}$ - суммарная эффективность поведения специалиста с учетом общественного мнения, по критерию „воля“;

$P_{сум(инт)}$ - суммарная эффективность поведения специалиста с учетом общественного мнения, по критерию „интерес“;

Коэффициенты $\lambda_{отв}$, $\lambda_{вол}$, $\lambda_{инт}$ - коэффициенты важности каждого критерия (назначаются с учетом профессиональной специфики, в зависимости от значимости соответствующего критерия).

Заключение

Выводы, связанные с разработкой метода аксиологической диагностики профессиональной деятельности персонала ТСм в целях повышения их безопасности показывают, что:

1. Оценка влияния профессиональных решений и СПД ТС (ТР) на безопасность и эффективность обслуживания ТСм будет осуществляться преимущественно с использованием методов экспертных оценок. Для получения высокого уровня объективности, оценка СПД персонала ТСм должна осуществляться экспертной группой с учетом мнения коллектива, членом которого является ТС (ТР).

2. Проблема подбора экспертов является одной из наиболее сложных в теории и практике экспертных исследований. Не существует такого метода подбора экспертов, который бы гарантированно обеспечил успех экспертизы. Организация работы экспертной комиссии в значительной мере зависит от того, что именно она должна представить в результате своей работы информацию для принятия дальнейшего решения или подготовить само решение. Математические методы в экспертных оценках применяются для решения задач, связанных с подготовкой решения. При этом вопрос согласованности и однородности экспертных оценок должен решаться с учетом логики и здравого смысла.

3. В основе аксиологической оценки СПД ТС (ТР) лежит формирование массива данных, характеризующих всего профессионально-ценностного спектра их деятельности.

4. Для оценки СПД ТС (ТР) в интересах БП и эффективности разработаны новые комплексные критерии: уровень природосообразности профессиональной деятельности ТС (ТР); уровень гуманности профессиональной деятельности ТС (ТР); уровень чувства ответственности и долга ТС (ТР), уровень профессионализма ТС (ТР); уровень развития профессионально-личностных качеств ТС (ТР), уровень вложенных волевых усилий ТС (ТР), сила проявленного интереса ТС (ТР), уровень целесообразности принятых решений. Чем выше оценки ТС (ТР) по перечисленным критериям, тем выше уровень безопасности и эффективности его профессиональных решений и СПД в целом. Для проведения оценки профессиональных решений и СПД персонала ТСм, по вышеуказанным критериям разработаны соответствующие комплексы показателей.

5. Для проведения интегральной оценки по всему множеству разработанных показателей, имеющих различную физическую природу, используется функция желательности Харрингтона. При этом, в особо сложных случаях, для уточнения коэффициентов весомости каждого показателя можно использовать метода парных сравнений.

6. Разработанная методология, в принципе, позволяет решать различные задачи по отдельной оценке знаний, умений, навыков и целостного СПД ТС (ТР) в нормальных и экстремальных условиях и дает обоснованные рекомендации по их дальнейшему продвижению по службе.

7. Представленная выше концепция предполагает диагностику качества профессиональной деятельности не проводить как сейчас, только по критериям: *образование, социальный статус, возраст, профессиональный опыт, профессионально важные качества, личностные и психофизиологические особенности (темперамент, характер, способности, направленность личности)*. Подобная оценка дает ответ на вопрос *Что человек может?*, но не дает ответ на вопрос *Что это за человек? и Насколько этому человеку можно доверять?*. Поэтому полноценную оценку деятельности человека необходимо проводить с учетом ее аксиологических (ценностных) характеристик, учитывая не только его профессионализма, но и его “активную жизненную и профессиональную позиции”.

Литература

1. Лукомский Ю.А., Стариченков А.Л. Прогнозирование устойчивости движения судов с динамическими принципами поддержания // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2004. – № 1 (серия «Автоматизация и управление»). – с.13-17.
2. Евсеенко С.М., Скороходов Д.А. О степени интеллектуализации, роботизации и интегрированной оценки управления организационно-технологическими процессами предприятия и корабля // Научный журнал «Морские интеллектуальные технологии», Россия, Санкт-Петербург, №4(22)2013. – с.53-60.
3. Лукомский Ю.А., Скороходов Д.А., Стариченков А.Л. Обеспечение безопасности водных транспортных средств // СПб.: Из-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. 244 с.
4. Маринов М.Л. Ситуационное моделирование безопасности человеческого поведения с использованием функционально-психологической модели // Морской вестник. – 2009. - №4. – с.75-78.
5. Маринов М.Л., Малыгина Е. А. Роль человеческого фактора в проблеме транспортной безопасности // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2013. – №2(26). – с.19 – 26.
6. Маринов М.Л. Проблемы и перспективы оценки поведения руководителей и специалистов в профессиональной сфере // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2015. – №4(39). – с.215-224.
7. Скороходов Д. А. Функции и режимы интегрированных систем управления // СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010. 84 с.
8. Скороходов Д.А., Стариченков А.Л. Методика оценки эффективности комплексной безопасности транспортной компании // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы», выпуск №2 (2015).- с.24-29.
9. Higgins A., Koucky S. Go-anywhere rescue hovercrafts. // Machine design. – 2001. – №10. – P. 26.
10. Sira-Ramirez H., Ibanez C.A. On the control of the hovercraft system // Dynamics and control. – 2000. – №2. – PP. 151-163.

References

1. Lukomskij Ju.A., Starichenkov A.L. Prognozirovanie ustojchivosti dvizhenija sudov s dinamicheskimimi podderzhanija // Izvestija SPbGJeTU «LJeTI». – 2004. – № 1 (serija «Avtomatizacija i upravlenie»). – s.13-17.
2. Evseenko S.M., Skorokhodov D.A. O stepeni intellektualizacii, robotizacii i integrirovannoy octnki upravleniya organizacionno-tehnologicheskimi processami predpriyatiya i korablya // Nauchyiy zhurnal «Morskie intellektuflnie tehnologii», Rossiya, Saint-Petersburg, №4(22)2013. – s.53-60.
3. Lukomskiy Ju.A., Skorokhodov D.A., Starichenkov A.L. Obespechenie bezopasnosti transportnih sredstv // SPb.: Iz-vo SP,GETU «LETI», 2012. 244 s.
4. Marinov M.L. Situacionnoe modelirovanie bezopasnosti chelovecheskogo povedenija s ispol'-zovaniem funkcional'no-psihologicheskoy modeli // Morskoj vestnik. – 2009. - №4. – s.75-78.
5. Marinov M.L., Malygina E. A. Rol' chelovecheskogo faktora v probleme transportnoj bezopasnosti // Problemy upravlenija riskami v tehnosfere. – 2013. – №2(26). – s.19 – 26.
6. Marinov M.L. Problemy i perspektivy ocenki povedenija rukovoditelej i specialistov v professional'noj sfere // Vestnik Tihookeanskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2015. – №4(39). – s.215-224.
7. Skorokhodov D.A. Funkcii i rezhimi integrirovannih system upravleniya // SPb.: Izd-vo SPbGETU «LETI», 2010. 84 s.
8. Skorokhodov D.A., Starichenkov A.L. Metodika ocenki effektivnosti kompleksnoy besopasnosti transportnoy kompanii // Hauchno-analiticheskiy zhurnal «Vestnik Sanrt-Peterburgsrjuy universiteta gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhbi», vipusk №2 (2015).- s.24-29.
9. Higgins A., Koucky S. Go-anywhere rescue hovercrafts. // Machine design. – 2001. – №10. – P. 26.
10. Sira-Ramirez H., Ibanez C.A. On the control of the hovercraft system // Dynamics and control. – 2000. – №2. – PP. 151-163.



Научный журнал МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

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

e-mail: mit-journal@mail.ru www.morintex.ru

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

Для публикации статьи необходимо представление перечисленных ниже документов.

1. Сопроводительное письмо авторов
2. Электронная версия статьи, подготовленная в соответствии с требованиями к оформлению статей – инструкция прилагается ниже
3. Одна рецензия на публикуемую статью по соответствующей специальности с подписью, заверенной гербовой печатью. При междисциплинарном исследовании представляются две рецензии от экспертов различных областей наук по соответствующей тематике.
4. Акт экспертизы на открытую публикацию (при необходимости)
5. Лицензионный договор

Перечисленные документы (кроме акта экспертизы) могут быть переданы в редакцию по электронной почте по адресу mit-journal@mail.ru (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 8–1.

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 недопусти-

мы транслитерации с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Англоязычное название должно быть грамотно с точки зрения английского языка, при этом по смыслу полностью соответствовать русскоязычному названию.

Обращаем внимание авторов на необходимость обеспечить высокое профессиональное качество перевода на английский язык. Автоматизированный перевод с помощью программных систем категорически запрещается! При обнаружении экспертом Редакции низкого качества перевода статья отклоняется!

Возможности систем SCOPUS и Web of Science позволяют проводить исследования: по ссылкам, оценивать значение и признание работ конкретных авторов, научный уровень журналов, организаций и стран в целом, определять актуальность научных направлений и проблем, выявлять их точки роста и падения и т.д. Ссылка на публикацию в научной статье является одним из главных показателей качества публикации. А статья с представительным списком литературы демонстрирует профессиональный кругозор и качественный уровень исследований ее авторов

Полный текст должен быть структурированным по разделам. Структура полного текста рукописи, посвященной описанию результатов оригинальных исследований, должна соответствовать общепринятому шаблону и содержать разделы: введение (актуальность), цель и задачи, материалы и методы, результаты, выводы, обсуждение (дискуссия).

1. Инсталляция заготовки Mor-Inst

Вы получили по электронной почте (или некоторым другим способом) файл **Mor-Inst.doc** и должны использовать его на своем текстовом процессоре MS Word 97-2003.

Для того, чтобы начать работу необходимо: скопировать на Ваш компьютер файл **Mor-Inst.doc**, переименовав его под фамилией первого автора (например, **nikitin.doc**).

После выполнения этих действий Ваш текстовый процессор MS Word 97-2003 готов для

создания документа в формате camera ready для оформления номера.

2. Начало работы с заготовкой Mor-Inst

Итак, предположим, что Вы скопировали заготовку **Mor-Inst.doc** для своего текстового процессора MS Word 97-2003, как это определено в предыдущем разделе данной инструкции.

Теперь, после вызова текстового процессора MS Word 97-2003, из опции основного меню **File (Файл)** выбирайте подопцию **Open (Открыть)**, а на приглашение выбрать файл отметьте **nikitin.doc** и нажмите клавишу **OK**.

После этого Ваш текстовый процессор откроет документ с данной заготовкой, который существенно облегчит Вашу дальнейшую работу.

Дальнейшая подготовка статьи очень похожа на редактирование "чужого" текста и преобразование его к виду, когда он станет Вашим.

В оставшейся части настоящей инструкции последовательно обсуждаются все основные

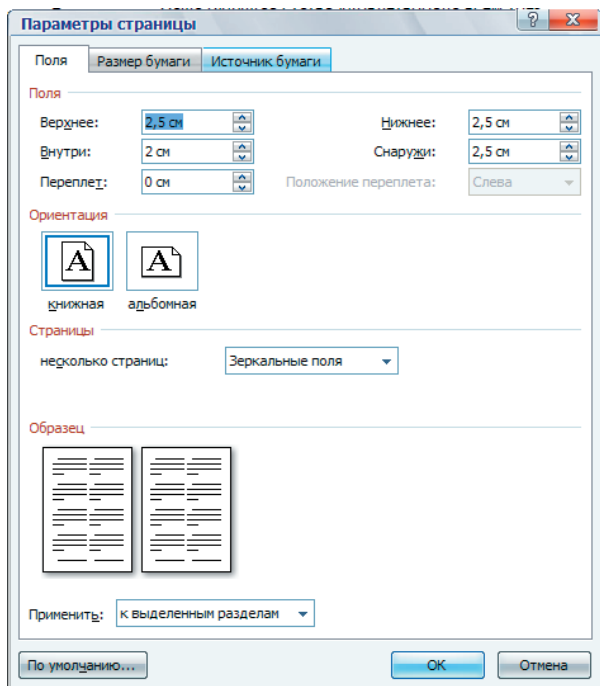


Рис. 1. Общий Layout страницы

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 sampler сам является примером нужной организации текста статьи)

- УДК..
- Заголовков работы.
- Для каждого автора статья:
Фамилия Имя Отчество
ученое звание, ученая степень,

элементы, которые могут потребоваться при подготовке Вашей статьи.

Обратите внимание на то, что сами элементы заготовки уже выбраны таким образом, чтобы Ваша будущая статья удовлетворяла всем требованиям оформления camera ready текстов для публикации в журнале.

3. Основные правила подготовки статей на базе шаблона Mor-Inst

3.1. Общие замечания по объему и формату статьи

По решению редакции объемы принимаемых к публикации материалов должны отвечать следующим ограничениям

- объем статьи должен быть не более 5 стр.;
- текст доклада должен укладываться в целое число страниц.

Все материалы должны быть сформатированы для последующей печати на стандартных листах формата А4 со следующим Layout (Параметрами страницы) (рис. 1).
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 sampler'ом, все размеры будут выставлены правильно и Вам останется только следовать им. Если же Вы пользуетесь твердой копией данного sampler'a, то используйте следующие размеры шрифтов:

- для названия статьи *Arial 13 прописной, жирный*;
- для УДК и идентификации автора (ов) статьи *Arial 9 курсив*;
- для адреса (ов) автора (ов) статьи *Arial 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**². Каждое графическое изображение должно представлять собой **единый, цельный** объект.

По возможности используйте для графического материала минимально требуемое разрешение. Это существенно уменьшает объем пересылаемого материала.

Во всех случаях обращайтесь внимание на то, чтобы текстовые подписи на рисунках были набраны с использованием тех же шрифтов, что и основной текст и меньшим размером.

3.2. Использование таблиц

В работе допускается использование таблиц, подготовленных стандартными средствами MS

² Статьи с рисунками, нарисованными в тексте документа с помощью панели "Рисование" MS Word 97-2003, рассматриваются редакцией в индивидуальном порядке по согласованию с авторами статей.

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 подго-

товке 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).

$$\forall x \in [a, b] F(x) \leq \infty \quad (1)$$

Все формулы набираются тем же шрифтом, что и основной текст.

ФОРМУЛЫ НЕ СОХРАНЯТЬ КАК РИСУНОК!!!

Если же это, по каким-либо причинам неудобно и/или невозможно, воспользуйтесь установками, приведенными на рис. 2.

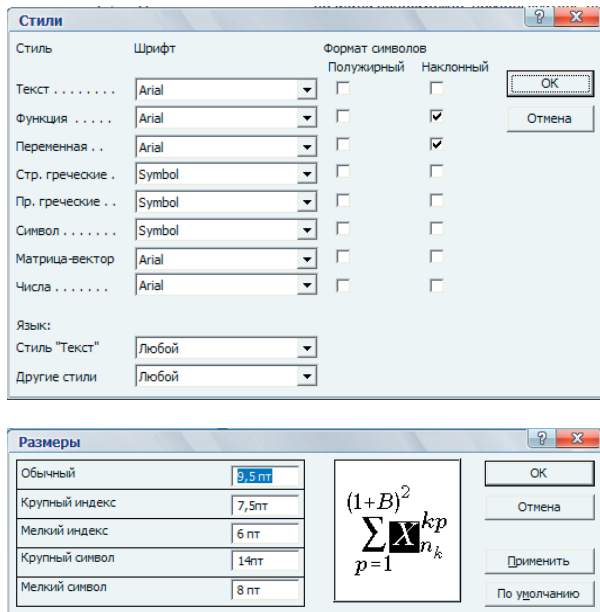


Рис. 2. Установки шрифтов и размеров в MS Equation

Обратите внимание на то, что при наборе формул в тексте, возможно изменение «интервальности». Не бойтесь этого и не пытайтесь уменьшить размер используемого шрифта до нечитаемого уровня. Аналогичное замечание справедливо и для формул, 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	ьыыы	111	MMM	Тттт
2.	фффф	ьыыы	111	MMM	Тттт
3.	фффф	ьыыы	111	MMM	Тттт
4.	фффф	ьыыы	111	MMM	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:

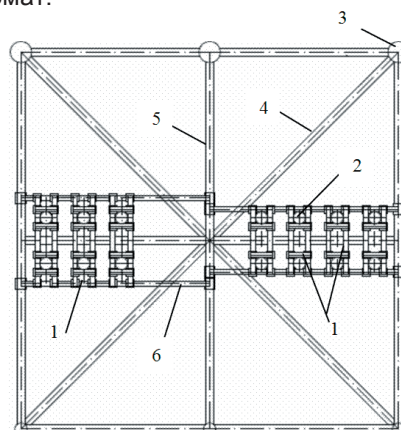


Рис. 3. Раскрепление водоотделяющих колонн с помощью жестких рам (вид в плане на диафрагму МСП): 1 – жесткие рамы; 2 – водоотделяющие колонны; 3 – вертикальные стойки опорного блока; 4 – раскосы опорного блока; 5 – распорка опорного блока; 6 – фундамент жесткой рамы

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 распространённой.

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 отчеты, 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
ПАО «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
ПАО «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:

- 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.
- Акт экспертизы на открытую публикацию (при необходимости).
- 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. Э

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

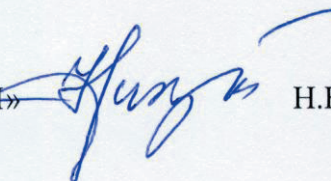
3.1. Принятые к публикации статьи проходят редактирование, предусматривающее предпечатную подготовку статьи к размещению в очередном номере журнала.

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

Есть на складе издательства

Гайкович А. И.

**Основы теории проектирования сложных технических систем
СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2001, 432 стр.**

Монография посвящена проблеме проектирования больших разнокомпонентных технических систем. Изложение ведется с позиций системного анализа и достижений прикладной математики и информатики.
Есть в продаже: **цена 420 руб. + пересылка**

Коршунов Ю. Л.

**Люди, корабли, оружие (К 70-летию 1-го ЦНИИ МО РФ)
СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2002, 176 стр.**

Книга содержит историю научно-исследовательских институтов кораблестроения и морского оружия. Автор приводит большое количество фактов, характеризующих деятельность институтов на различных этапах развития флота.
Есть в продаже: **цена 280 руб. + пересылка**

Архипов А. В., Рыбников Н. И.

**Десантные корабли, катера и другие высадочные средства морских десантов
СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2002, 280 стр.**

Изложен опыт проведения морских десантных операций, их особенности, характерные черты и тенденции развития этого вида боевых действий. Рассмотрены наиболее существенные аспекты развития десантных кораблей, катеров и других высадочных средств морских десантов. Затронуты некоторые особенности проектирования десантных кораблей и возможные пути совершенствования расчетных методов.
Есть в продаже: **цена 320 руб. + пересылка**

Караев Р. Н., Разуваев В. Н., Фрумен А. И.

**Техника и технология подводного обслуживания морских нефтегазовых сооружений.
Учебник для вузов
СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2012, 352 стр.**

В книге исследуется роль подводно-технического обслуживания в освоении морских нефтегазовых месторождений. Приводится классификация подводного инженерно-технического обслуживания морских нефтепромыслов по видам работ.

Изложены основные принципы формирования комплексной системы подводно-технического обслуживания морских нефтепромыслов, включающей использование водолазной техники, глубоководных водолазных комплексов и подводных аппаратов.

Есть в продаже: **цена 1500 руб. + пересылка**

Шауб П. А.

**Качка поврежденного корабля в условиях морского волнения
СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2013, 144 стр.**

Монография посвящена исследованию параметров бортовой качки поврежденного корабля, судна с частично затопленными отсеками в условиях морского волнения. Выведена система дифференциальных уравнений качки поврежденного корабля с учетом нелинейности диаграммы статической остойчивости, начального угла крена, затопленных отсеков III категории.

Книга предназначена для специалистов в области теории корабля, а также может быть полезной для аспирантов, инженеров и проектировщиков, работающих в судостроительной области, занимающихся эксплуатацией корабля, судна.

Есть в продаже: **цена 350 руб. + пересылка**

**Гидродинамика малопогруженных движителей: Сборник статей
СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2013, 224 стр.**

В сборнике излагаются результаты исследований гидродинамических характеристик частично погруженных гребных винтов и экспериментальные данные, полученные в кавитационном бассейне ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова в 1967–2004 гг. его эксплуатации при отработке методик проведения испытаний на штатных установках.

Есть в продаже: **цена 250 руб. + пересылка**

Гайкович А. И.

**Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов т. 1, 2
СПб., НИЦ МОРИНТЕХ, 2014**

Монография посвящена теории проектирования водоизмещающих кораблей и судов традиционной гидродинамической схемы. Методологической основой излагаемой теории являются системный анализ и математическое программирование (оптимизация).

Есть в продаже: **цена 2-х т. 2700 рублей + пересылка**

**XXVII Международная конференция
Математическое и компьютерное моделирование в механике
деформируемых сред и конструкций. Основы статического
и динамического разрушения
МКМ 2017 (до 2015г. BEM-FEM)**

25 сентября – 27 сентября 2017, Санкт-Петербург, Россия

**XXVII International Conference
Mathematical and Computer Simulation in Mechanics of Solids and
Structures. Fundamentals of static and dynamic fracture
MCM 2017**

September 25 - September 27, 2017, Saint Petersburg, Russia

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Российская академия наук

ESIS (European Structural Integrity Society) TC5

(Technical Committee 5) - Dynamic of fracture and structural transformation

Институт проблем машиноведения Российской академии наук

Санкт-Петербургский государственный университет

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Секция строительной механики и надежности конструкций Санкт-Петербургского

Дома ученых РАН им. А.М. Горького

Основные научные направления (секции)

- Численные и аналитические методы механики сплошных сред, конструкций и сооружений;
- Механика деформируемого твердого тела, прочность и разрушение;
- Динамика, прочность и устойчивость машин и элементов конструкций;
- Механика материалов, трение и износ.

**Которые включают следующие научные направления,
(но ими не ограничиваются)**

- Численные методы решения задач строительной механики и механики сплошной среды (наука, практика и образование);
- Динамика и прочность машин и конструкций;
- Проблемы гидроаэроупругости;
- Динамические и статические задачи теории устойчивости;

- Механика вязкоупругопластичности, повреждаемости и разрушения материалов и конструкций;
- Механика композитных материалов;
- Наномеханика и проблемы повышения прочности материалов;
- Компьютерные технологии и программное обеспечение в моделировании конструкций;
- Механика жидкости и газа

Рабочий язык

Рабочий язык конференции - английский.

Организационный комитет

Рутман Ю.Л., Атрошенко С.А., Смирнов В.И., Галилеев С.М, Брагов А.М., Братов В.А., Волков Г.А., Груздков А.А., Каган-Розенцвейг Л.М., Кондратьева Л.Н, Казаринов Н.А., Лалин В.В., Мелешко В.А., Мельников Б.Е, Улитин В.В, Уздин А.М., Федоровский Г.Д., Фрумен А.И.

Программный комитет

Сопредседатели: Морозов Н.Ф., Петров Ю.В., Vadim Silberschmidt

Члены комитета: Bhushan Karihaloo, Беляев А.К., Арутюнян Р.А., Белостоцкий А.М, Ватин Н.И., Гольдштейн Р.В., Игумнов Л.А., Индейцев Д.А., Кадисов Г.М., Кашеварова Г.Г., Каюмов Р.А, Клованич С.Ф, Кривцов А.М., Ломакин Е.В., Масленников А.М., Овидько И.А., Перельмутер А.В., Петин С.В., Победря Б.Е., Родионов А.А., Розин Л.А., Тарануха Н.А., Травуш В.И., Чирков В.П., Шклярчук Ф.И., Kaplunov Julius, Prikazchikov Danila, Ya-Pu Zhao, Irina Hussainova, Narinder Gupta, Ishraf Iqbal, IIT Rookeee, Jan Džugan, Daniel Rittel, Dov Sherman, Marian Wiercigroch, Anna Pandolfi, Jan DŽUGAN

Ученый секретарь: Атрошенко С.А.

Секретариат: Иванов А.Ю., Островская Н.В., Селютина Н.С.

Регистрация и тезисы докладов

Регистрация участников и подача тезисов производится в режиме онлайн на сайте конференции www.onlinereg.ru/mcm2017

Контактный адрес по вопросам, связанным с онлайн регистрацией, приёмом оргвзносов, подачей тезисов, бронированием гостиниц: mcm2017@onlinereg.ru.

Организационные взносы

Регистрационный взнос – **5000** руб., для сопровождающих лиц – **3000** руб., для студентов и аспирантов – **1000** руб. В эту сумму включены организационные расходы, аренда помещения, публикация программы и тезисов докладов конференции

Гостиницы

Бронирование номеров в гостиницах производится в режиме онлайн.

Для участников конференции будут забронированы номера по специальным ценам. Вся информация представлена на сайте конференции: www.onlinereg.ru/mcm2017

Контрольные сроки

- Регистрация участников и прием тезисов докладов – **до 30 июня 2017 г.**
- Оплата оргвзноса в безналичной форме или предоставление гарантийного письма об оплате на месте для подтверждения участия – **до 01 сентября 2017 г.**
- Прием полных текстов докладов (требования будут объявлены позднее) – **до 25 сентября 2017 г.**

Культурная программа

Экскурсионная программа для участников и сопровождающих лиц может быть подготовлена на русском и английском языках по запросу участников за их счет: автобусная обзорная экскурсия по городу, катание на теплоходе по рекам и каналам, экскурсия в пригороды (Петергоф, Пушкин, Павловск) и другие.

Контакты

E-mail: mcm2017@onlinereg.ru. (организационные вопросы);

bemfemspb@gmail.com (программа конференции, тезисы докладов);

Сайт конференции: www.onlinereg.ru/mcm2017 (регистрация в режиме онлайн, загрузка тезисов докладов, требования к тезисам докладов);

Телефон: +7 (812) 335-20-55 доб.205 Шур Елизавета, менеджер проекта

Требования к докладам – презентация (flash-накопитель, CD, съемные диски); стендовые доклады – формат от А4 до А1. Все изменения и вся актуальная информация будет представлена **на сайте** конференции www.onlinereg.ru/mcm2017.

Требования к оформлению тезисов

Тезисы представляются на английском языке.

Объем тезисов: не более 2 страниц (без нумерации).

Текстовый редактор: Win Word 97-2010.

Формат: А4 (210x297).

Поля: («Обычные») левое – 3 см, верхнее и нижнее – 2 см, правое – 1.5 см.

Шрифт текста тезисов: Times New Roman.

Размер: 14pt.

Интервалы и отступы: межстрочный интервал – одинарный, абзацный отступ (для основного текста) – 1 см.

Рисунки, формулы и таблицы размещать в тексте тезисов. Размеры рисунков и обозначений на них давать с учетом возможного уменьшения при печати (с А4 до А5). Под каждым рисунком указывать его номер и название, например: Рис. 3. Схема устройства.

Ссылки на литературу нумеровать в порядке их появления в тексте.

Тезисы будут изданы до начала конференции.

Рекомендованные программным комитетом статьи **будут опубликованы в рецензируемых высокорейтинговых иностранных журналах.**