

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА
ИМЕНИ АДМИРАЛА С. О. МАКАРОВА»

ВЕСТНИК

**ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА
ИМЕНИ АДМИРАЛА С. О. МАКАРОВА**

Выпуск 1 (29)

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2015

Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2015. — Вып. 1. — 236 с.

ISSN 2309-5180

«Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова» является научным периодическим изданием, зарегистрированным Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Свидетельство о регистрации средства массовой информации от 17 июля 2013 г. ПИ № ФС 77-54734).

В Вестнике публикуются материалы научных исследований, а также статьи для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по основным группам специальностей в соответствии с Номенклатурой специальностей научных работников: **05.22.00 Транспорт** в разделах: Эксплуатация водного транспорта, судовождение, Водные пути сообщения и гидрография; **05.08.00 Кораблестроение** в разделах: Судостроение и судоремонт, Судовые энергетические установки, системы и устройства; **08.00.00 Экономические науки** в разделе: Экономика и управление на транспорте; **05.09.00 Электротехника** в разделе: Электротехнические комплексы и системы; **05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление** в разделе: Информационные технологии и автоматизация на транспорте.

Статьи публикуются на русском и английском языках.

Статьи тщательно отбираются по критериям новизны, актуальности, научно-практической значимости, возможности реального использования описанных в них новых технологий на водном транспорте. По содержанию статьи должны соответствовать названию журнала, его целям и задачам.

Статьи рецензируются независимыми экспертами.

Кроме того, в Вестнике публикуются обзорные материалы научных конференций, семинаров и совещаний; сообщения и статьи к юбилейным датам и знаменательным событиям университета и его ведущих ученых.

Вестник включен в Перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ.

Вестнику присвоен международный стандартный номер сериального периодического издания ISSN 2309-5180.

С 2009 года журнал включен в базу данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ).

Индекс для подписки в каталоге «Газеты.Журналы» агентство Роспечать: 37276.



СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ | 7 |
| <i>Некрасов С. Н., Ефимов К. И., Трененков Д. В.</i> Вычисление гарантированного курса расхождения при опасности сближения вплотную | 7 |
| <i>Головченко Б. С., Гриняк В. М., Девятисильный А. С.</i> Нечёткая система предупреждения об опасном сближении морских судов | 15 |
| <i>Львов В. Е.</i> Компенсация волнового и ветрового воздействий на систему управления курсом судна | 25 |
| <i>Андреанов Е. Н., Иванов А. Н.</i> Актуальные вопросы повышения надежности механизмов передвижения порталных кранов на рельсовом ходу | 30 |
| <i>Пластинин А. Е.</i> Оценка механического воздействия на окружающую среду при взрывах на танкерах | 42 |
| <i>Ширунов Г. Н.</i> Моделирование нормальной сосредоточенной силы в задаче линейно деформируемого основания гидротехнического сооружения | 52 |
| СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА | 60 |
| <i>Королев В. И., Ластовцев А. Ю.</i> Повышение безопасности атомных плавучих объектов за счет совершенствования систем безопасности, предотвращающих выход теплоносителя в окружающую среду | 60 |
| <i>Чепалис И. В.</i> Проблемы устойчивой работы газодизелей при использовании естественно испарившегося груза метановозов в качестве топлива | 68 |
| <i>Лютин Л. А.</i> Схемы приготовления каптированного газа для газодизеля | 75 |
| СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ | 82 |
| <i>Веселков В. В., Кобец М. А.</i> Принципы реализации и развития технологии автоматизированного изготовления корпусных конструкций | 82 |
| <i>Жиленков А. А., Железняк А. А., Черный С. Г.</i> Перспективные пути повышения эффективности диагностирования параметров надежности эксплуатации морского бурового оборудования | 90 |
| <i>Безпальчук С. Н., Буцаец А. А., Петров В. М.</i> Обобщенная модель состояния качества поверхности ответственных деталей судовых энергетических установок выполненных из композиционных углепластиков | 97 |
| ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ | 103 |
| <i>Кузнецов А. Л., Кайзер А.</i> Имитационная модель для оценки влияния судопотока и дноуглубительных работ в подходном канале морского порта | 103 |
| <i>Соляков О. В.</i> Обеспечение безопасного судоходства на внутренних водных путях с использованием навигационной аппаратуры потребителя | 112 |
| <i>Шахнов С. Ф.</i> Расчет функции ослабления поля контрольно-корректирующих станций с учетом влияния подстилающей поверхности | 116 |
| <i>Фирсов Ю. Г.</i> Инновационные методики в учебном процессе при подготовке гидрографов | 123 |
| ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ | 130 |
| <i>Королева Е. А., Филатова Е. В.</i> Проблемы формирования качества транспортно-экспедиционного обслуживания в сфере морских перевозок | 130 |

выпуск **1**
2015

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор

С. О. Барышников,

д.т.н., профессор

rector@gumrf.ru

Зам. гл. редактора

Т. А. Пантина, д.э.н., проф.

PantinaTA@gumrf.ru

Ю. Н. Горбачев —

ген. конструктор ОАО

«Инженерный центр

судостроения», д.т.н., проф.

С. Гуцма —

ректор Морской академии

(г. Щецин, Польша), д.т.н.,

проф.

Г. В. Егоров —

ген. директор ЗАО «Морское

инженерное бюро — СПб»,

д.т.н., проф.

Ф. В. Кармазинов —

ген. директор ГУП «Водоканал

С-Пб», д.т.н., проф.

Р. Качиньски —

проректор по развитию и

сотрудничеству Технического

университета (г. Белосток,

Польша), д.т.н., проф.

А. И. Пошивай —

заместитель руководителя

Федерального агентства

морского и речного транспорта

А. Е. Сазонов —

д.т.н., проф., член-

корреспондент РАН

Р. М. Юсупов —

директор Санкт-Петербургского

института информатики и

автоматизации РАН, д.т.н.,

проф., член-корреспондент РАН

РЕДАКЦИЯ:

E-mail: journal@gumrf.ru

http://journal.gumrf.ru

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-54734 от 17.07.2013 г.

Адрес редакции: 198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7.

Подписной индекс в каталоге Роспечать — 37276.

Все материалы, поступившие в редакцию, рецензируются.

| | |
|--|--|
| Члены ред. коллегии: | |
| <i>О. К. Безюков,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>В. В. Веселков,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>П. А. Гарибин,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>Д. П. Голоскоков,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>Б. П. Ивченко,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>Ю. М. Искандеров,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>О. Г. Каратаев,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>А. В. Кириченко,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>М. А. Колосов,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>Е. А. Королева,</i> д.э.н., проф. | |
| <i>И. И. Костылев,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>Е. А. Лаврентьева,</i> д.э.н., проф. | |
| <i>А. Ю. Ластовцев,</i> к.т.н., проф. | |
| <i>С. Б. Лебедев,</i> д.э.н., проф. | |
| <i>В. А. Логиновский,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>Г. В. Макаров,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>В. Е. Марлей,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>А. М. Никитин,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>А. П. Нырков,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>Л. И. Погодаев,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>Н. В. Растрьгин,</i> к.т.н., доц. | |
| <i>В. И. Решняк,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>В. В. Романовский,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>А. А. Сикарев,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>И. П. Скобелева,</i> д.э.н., проф. | |
| <i>С. В. Смоленцев,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>А. Л. Степанов,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>М. В. Сухотерин,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>Е. Г. Трунин,</i> к.э.н., директор РРР | |
| <i>Г. В. Ушакова,</i> к.и.н., проф. | |
| <i>В. И. Черненко,</i> д.т.н., проф. | |
| <i>В. Б. Чистов,</i> д.т.н., проф. | |

| | |
|---|-----|
| <i>Вербило О. М. Пути повышения пропускной способности контейнерного терминала на этапе эксплуатации</i> | 137 |
| <i>Ковалева Е. Н., Водахова В. А. Комплексная оценка качества транспортных услуг, оказываемых на предприятиях внутреннего водного транспорта</i> | 144 |
| <i>Иванова М. Б. Логистический подход к организации системы «транспортный процесс».....</i> | 152 |
| <i>Бырбыткин А. А., Гуляевский С. Е., Кайгородов А. В. Проблемы оценки динамического состояния транспортного комплекса</i> | 162 |
| <i>Лепехина Ю. А. Разработка комплекса мероприятий, способствующих повышению эффективности деятельности ОАО «НСРЗ»</i> | 169 |
| <i>Караваева Е. Д., Караваев В. И. Теоретические подходы к вопросам социальной ответственности организаций водного транспорта</i> | 181 |
| <i>Ботнарюк М. В. Конкурентоспособность портовой услуги: социальный аспект</i> | 186 |
| ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ | 193 |
| <i>Саушев А. В. Морфологический анализ категории электротехническая система</i> | 193 |
| <i>Григорьев А. В., Колесниченко В. Ю. Компьютерное моделирование вентильного дизельгенераторного агрегата</i> | 201 |
| <i>Каракаев А. Б., Хохлов Е. С. Применение специального асинхронного электродвигателя для судовых вентиляционных систем</i> | 208 |
| ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ТРАНСПОРТЕ | 215 |
| <i>Олейник А. Ю., Макшианов А. В., Марлей В. Е. Разработка системы мониторинга деформаций гидротехнических сооружений на основе интернет-технологий и микроконтроллеров</i> | 215 |
| <i>Баишаков А. В. Подходы к построению защищенных беспроводных локальных сетей на объектах водного транспорта</i> | 222 |
| <i>Акмайкин Д. А., Ключева С. Ф., Салюк П. А. Проект системы оперативного анализа и оптимизации движения морских судов</i> | 229 |

CONTENST

| | |
|--|-----|
| OPERATION OF WATER TRANSPORT, NAVIGATION | 7 |
| <i>Nekrasov S. N., Yefimov K. I., Trenenkov D.V.</i> Calculation of the guaranteed passing course at the danger of the close-quarters situation | 7 |
| <i>Golovchenko B. S., Grinyak V. M., Devyatisilnyy A. S.</i> Fuzzy logic decision-making system for ships collision avoidance | 15 |
| <i>Lvov V. Ye.</i> Compensation of wave and wind effects on the ship's course management system | 25 |
| <i>Andrianov Ye. N., Ivanov A. N.</i> The actual issues of reliability mechanisms of movement of gantry cranes on rails course | 30 |
| <i>Plastinin A. Ye.</i> , Assessment of mechanical impact on environment at explosions on tankers | 42 |
| <i>Shirunov G. N.</i> Modeling normal concentrated force in the problem linearly deformable foundation of hydraulic engineering structure | 52 |
| SHIP POWER PLANTS, SYSTEMS AND DEVICES | 60 |
| <i>Korolev V. I., Lastovtsev A. Yu.</i> Increase safety of nuclear facilities by floating improvement of security systems, leakage of the coolant in the environment | 60 |
| <i>Chepalis I. V.</i> Problems of stable operation of dual fuel engines by using natural boil-off gas as fuel on LNG carriers | 68 |
| <i>Khlyupin L. A.</i> Scheme of cooking captured gas for gas-diesel engine | 75 |
| SHIPBUILDING AND SHIP REPAIR | 82 |
| <i>Veselkov V.V. , Kobets M. A.</i> Principles of realization and development of the technology of the automated manufacturing of hull constructions | 82 |
| <i>Zhilentov A. A., Zheleznyak A. A. , Chernyy S. G.</i> Prospective ways to improve the efficiency of diagnosis reliability parameters of operation of offshore drilling equip-ment | 90 |
| <i>Bezpalchuk S. N., Butsanets A. A., Petrov V. M.</i> Generalized model of the quality status of surface critical parts of ship power plants made of composite plastics | 97 |
| WATERWAYS AND HYDROGRAPHY | 103 |
| <i>Kuznetsov A. L., Kayzer A.</i> A simulation technique for the port traffic and dredging in its approaching channel interference assessment | 103 |
| <i>Solyakov O. V.</i> Protection of safety navigation on the inland waterways with using navigation consumer equipment | 112 |
| <i>Shakhnov S. F.</i> Calculation of function field weakening of the control and correction stations taking into account the influence of the underlying surface | 116 |
| <i>Firsov Yu. G.</i> Hydrographic innovative education methodology | 123 |
| ECONOMICS AND MANAGEMENT OF TRANSPORT | 130 |
| <i>Koroleva Ye. A., Filatova Ye. V.</i> Quality formation issues of freight forwarding services in shipping | 130 |
| <i>Verbilo O. M.</i> Possibilities to increase port container terminal capacity | 137 |
| <i>Kovaleva Ye. N., Vodakhova V.A.</i> A comprehensive assessment of the quality of transport services at the enterprises of inland water transport | 144 |
| <i>Ivanova M. B.</i> Logistic approach to organisation of system «Transport process» | 152 |

edition **1**
2015

EDITOR-IN-CHIEF

S. O. Baryshnikov
doctor of technical Sciences, prof.
rector@gumrf.ru

Deputy Editor-in-Chief

T. A. Pantina
doctor of economic Sciences, Prof.
PantinaTA@gumrf.ru

Yu. N. Gorbachev —
general Designer of JSC
“Engineering center of
shipbuilding”, doctor of technical
Sciences, Prof.

S. Gutsma —
Rector of the Maritime Academy
(g.Schetsin, Poland), doctor of
technical Sciences, Prof.

G. V. Yegorov —
General Director of “Marine
Engineering Bureau - St.
Petersburg”, doctor of technical
Sciences, Prof.

F. V. Karmazinov —
General Director “Vodokanal
of St. Petersburg”, doctor of
technical Sciences, Prof.

R. Kachin'ski —
Vice-Rector for Development
and Cooperation of the Technical
University (Bialystok, Poland),
doctor of technical Sciences, Prof.

A. I. Poshivay —
Deputy Head of the Federal
Agency of Sea and River
Transport

A. Ye. Sazonov —
doctor of technical Sciences,
Prof., corresponding member of
the Russian Academy of Sciences

R. M. Yusupov —
director of “St. Petersburg
Institute for Informatics and
Automation of RAS”, doctor
of technical Sciences, Prof.,
corresponding member of the
Russian Academy of Sciences

EDITORIAL STAFF:
E-mail: journal@gumrf.ru
<http://journal.gumrf.ru>

**Editorial
Collegium:**

O. K. Bezyukov,
doctor of technical Sciences, Prof.
V. V. Veselkov,
doctor of technical Sciences, Prof.
P. A. Garibin,
doctor of technical Sciences, Prof.
D. P. Goloskokov,
doctor of technical Sciences, Prof.
B. P. Ivchenko,
doctor of technical Sciences, Prof.
Y. M. Iskanderov,
doctor of technical Sciences, Prof.
O. G. Karatayev,
doctor of technical Sciences, Prof.
A. V. Kirichenko,
doctor of technical Sciences, Prof.
M. A. Kolosov,
doctor of technical Sciences, Prof.
Ye. A. Koroleva,
doctor of economic Sciences, Prof.
I. I. Kostylev,
doctor of technical Sciences, Prof.
Ye. A. Lavrentyeva,
doctor of economic Sciences, Prof.
A. Yu. Lastovtsev,
candidate of technical Sciences, Prof.
S. B. Lebedev,
doctor of economic Sciences, Prof.
V. A. Loginovskiy,
doctor of technical Sciences, Prof.
G. V. Makarov,
doctor of technical Sciences, Prof.
V. Ye. Marley,
doctor of technical Sciences, Prof.
A. M. Nikitin,
doctor of technical Sciences, Prof.
A. P. Nyrkov,
doctor of technical Sciences, Prof.
L. I. Pogodayev,
doctor of technical Sciences, Prof.
N. V. Rastrygin,
candidate of technical Sciences,
Associate Prof.
V. I. Reshnyak
doctor of technical Sciences, Prof.
V. V. Romanovskiy,
doctor of technical Sciences, Prof.
A. A. Sikarev,
doctor of technical Sciences, Prof.
I. P. Skobeleva,
doctor of economic Sciences, Prof.
S. V. Smolentsev,
doctor of technical Sciences, Prof.
A. L. Stepanov,
doctor of technical Sciences, Prof.
M. V. Sukhoterin,
doctor of technical Sciences, Prof.
Ye. G. Trumin,
candidate of economic Sciences,
General Director
of FSI Russian River Register
G. V. Ushakova,
doctor of History, Prof.
V. I. Chernenko,
doctor of technical Sciences, Prof.
V. B. Chistov,
doctor of technical Sciences, Prof.
A. A. Yershov,
doctor of technical Sciences,
Associate Prof.
A. P. Gorobtsov,
candidate of technical Sciences,
Associate Prof.
B. A. Smyslov,
Candidate of Law, Prof.
A. Yu. Sharonov,
candidate of Geography, Associate Prof.
A. Ye. Sazonov,
doctor of technical Sciences, Prof.

| | |
|---|-----|
| <i>Byrbytkin A. A., Gulyayevskiy S. Ye., Kaygorodov A. V.</i> Problems of assessing the dynamic state of the transport complex | 162 |
| <i>Lepekhina YU. A.</i> Development of complex activities that contribute to improving effectiveness of Novorossiysk shipyard joint-stock company | 169 |
| <i>Karavayeva Ye. D., Karavayev V. I.</i> Theoretical approaches to social responsibility in water transport | 181 |
| <i>Botnaryuk M. V.</i> Competitiveness of port service: social aspect | 186 |
| ELECTRICAL EQUIPMENT AND SYSTEMS | 193 |
| <i>Saushev A. V.</i> Morphological analysis of category electrotechnical system | 193 |
| <i>Grigoryev A. V., Kolesnichenko V. Yu.</i> Computer simulation of the rectifier diesel generator set | 201 |
| <i>Karakayev A. B., Khokhlov Ye. S.</i> Application of special design asynchronous electric mo-tor for the ship ventilation system | 208 |
| INFORMATION TECHNOLOGY AND AUTOMATION IN TRANSPORT | 215 |
| <i>Oleynik A. Yu., Makshanov A. V., Marley V. Ye.</i> Development monitoring system strain engineering at the web-based and microcontrollers | 215 |
| <i>Bashmakov A. V.</i> The choice of the optimal approach to building secure wireless local area networks | 222 |
| <i>Akmaykin D. A. , Klyuyeva S. F. , Salyuk P. A.</i> Operational system design analysis and optimization of maritime traffic | 229 |

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

УДК 656.052.484

С. Н. Некрасов,
д-р техн. наук, проф.;

Д. В. Трененков,
асп.;

К. И. Ефимов,
асп.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ГАРАНТИРОВАННОГО КУРСА РАСХОЖДЕНИЯ ПРИ ОПАСНОСТИ СБЛИЖЕНИЯ ВПЛОТНУЮ

CALCULATION OF THE GUARANTEED PASSING COURSE AT THE DANGER OF THE CLOSE-QUARTERS SITUATION

В статье описаны способы оценки областей неопределенностей положения судов при расхождении в море и способы выбора гарантированного курса расхождения при сближении судов вплотную. Рассмотрена ситуация двух и более судов, идущих пересекающимися курсами, когда фактическое местоположение каждого судна будет находиться в эллипсе погрешностей курсов и скоростей каждого из судов. Таким образом, расчетное место их столкновения будет находиться не в точке, а в суммарном эллипсе, полученном путем сложения эллипсов погрешностей каждого из судов. Расчетным способом показано, что для гарантированного безопасного расхождения судам необходимо учитывать размеры данного эллипса. Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена необходимостью более полного понимания влияния погрешностей элементов движения судов и их взаимодействия при возникновении опасности столкновения.

In abovementioned clause described assessment methods of the uncertainty areas positions of the ships during passing at sea and methods of choice guaranteed passing course at the close-quarters situation. In situation when two ships and more are crossing, actual positions of every ship are located in the ellipse of the errors of course and speed of every ship. So, calculated position of collision located not in the point, but in the summary ellipse, obtained by the addition of ellipse of the errors of every ship. Ships are required to consider of this ellipse for guaranteed safety crossing, and it shows by calculations. Topicality of this problem is the wide understanding of the ships moving errors and their interaction in collision situation.

Ключевые слова: безопасность плавания, корреляционная матрица, эллипс погрешностей, расхождение судов.

Key words: safety of navigation, correlation matrix, ellipse of the errors, passing of the ships.



При движении судна его путь представляет собой криволинейную траекторию, обусловленную воздействием как гидрометеорологических факторов, так и причинами, возникающими при управлении судна. В общем случае основные навигационные параметры будут представлять собой *стохастический процесс с некоторыми статистическими характеристиками*. При решении задач расхождения судов в море это имеет определяющее значение как для текущей оценки основных параметров движения встречных судов, так и для решения задач прогноза дистанции расхождения и времени расхождения судов [1].

Оценка неопределенностей и погрешностей прогноза положения судов и других основных навигационных параметров при принятии допущения о нормальном распределении вектора навигационных параметров будет характеризоваться эллипсом рассеивания (гиперэллипсом в многомерном случае). Наличие эллипсов неопределенностей положения двух судов приводит к появ-

лению областей опасного сближения судов. Для выхода из зоны опасного сближения необходимо определить гарантированные курсы расхождения, при которых риск столкновения стремится к минимуму. Решение этой задачи будет способствовать уменьшению риска столкновения судов в море, который в настоящее время достаточно высок. Важность рассматриваемой задачи обусловлена также необходимостью более полного понимания влияния погрешностей элементов движения судов и их взаимодействия на появление областей возможного столкновения судов.

Гарантированный маневр подразумевает изменение курса судна ΔK_c или его скорости ΔV_c с учетом того, чтобы вероятность столкновения стремилась к нулю. Опыт показывает, что практически во всех ситуациях маневр курсом более эффективен, чем маневр скоростью. С другой стороны, в стесненных районах плавания возможны ситуации, когда маневр может быть выполнен только с помощью изменения скорости [2]. Тем не менее, изменение курса и/или скорости приводит к изменению положения линии относительного движения судов (ЛОД) при построении и расчете схем взаимного положения судов-целей.

Угол ЛОД является функцией от вектора скорости судна и вектора скорости цели. Однако, как отмечалось ранее, предполагается, что из-за неопределенности вектора относительной скорости судна возможно возникновение некой области (эллипса ошибок) относительного взаимного положения судов в прогнозируемом месте встречи. Поэтому для определения угла отклонения ЛОД необходимо учитывать влияние неопределенностей и, как следствие, изначально закладывать величину искомого ΔK_p с учетом данных обстоятельств. Таким образом, угол изменения ЛОД выражается в виде функции

$$\Delta K_p = f(D, S_p, V_p, A, B, \tau). \quad (1)$$

Графически гарантированный угол ΔK_p с учетом эллипса неопределенностей показан на рис. 1. Однако положение эллипса, как и его размеры, описываются корреляционной матрицей, определяющей погрешности в расстоянии по ЛОД из-за учета неопределенностей в скоростях. Поэтому размеры и положение эллипса непостоянны.

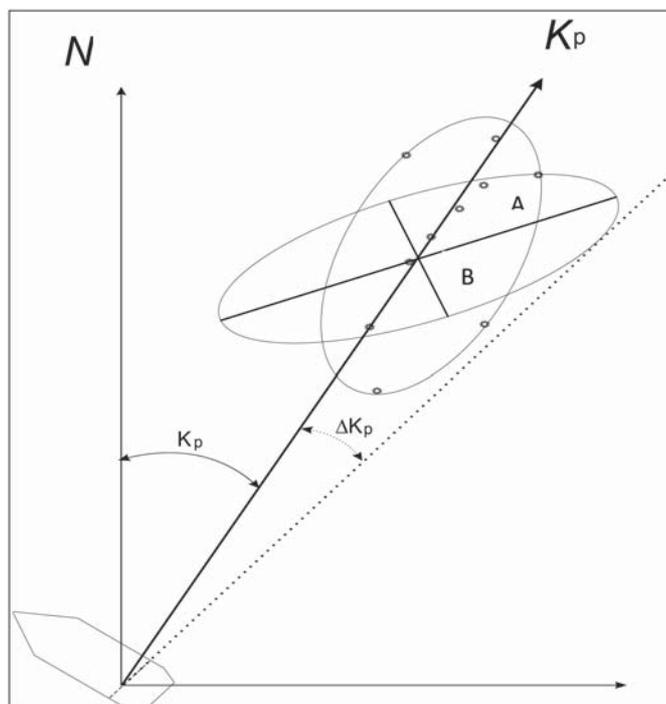


Рис. 1. Положение эллипса погрешности на линии относительного движения судна

В судовождении для каждого способа определения места судна существуют зависимости, которые позволяют рассчитать погрешность определения места судна относительно земной по-

верхности, которую обычно представляют в виде окружности. Применение эллипса погрешностей для оценки положения широкого применения не нашло. Для использования преимуществ данного способа была введена характеристика — радиальная средняя квадратическая погрешность (РСКП) [3], определяемая в виде

$$M = \sqrt{A^2 + B^2}, \quad (2)$$

где A — большая полуось эллипса погрешностей;
 B — малая полуось эллипса погрешностей.

Вероятность пребывания случайной точки в круге радиуса M больше, чем в среднеквадратическом эллипсе погрешностей, она зависит от соотношения B/A полуосей этого эллипса и колеблется, хоть и в незначительной степени (рис. 2). Переход от эллиптической погрешности к радиальной также важен ввиду удобства определения необходимого изменения угла ЛОД для уклонения от столкновения с целью. Достоинством РСКП (M) как меры точности является также и то, что она выражается одним числом.

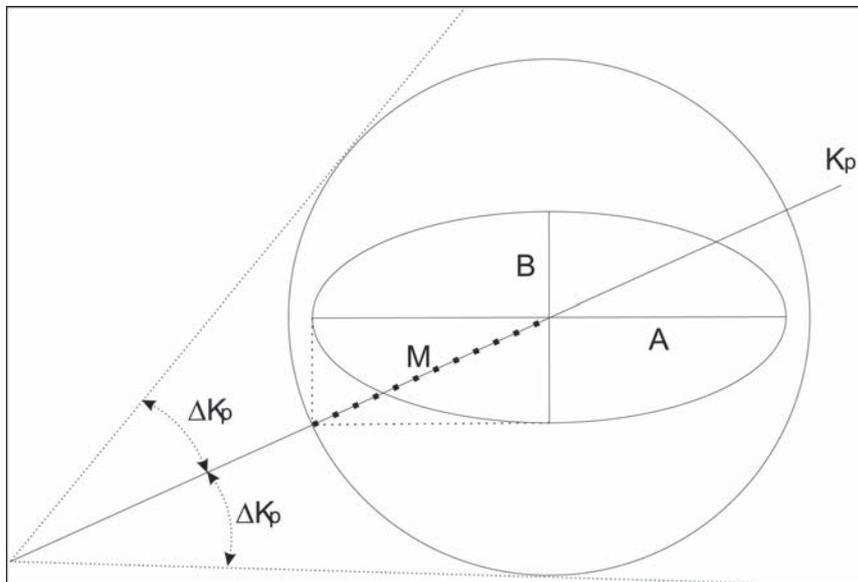


Рис. 2. Определение радиальной средней квадратической погрешности и ее применение для изменения угла ЛОД

Тогда необходимый угол изменения ЛОД можно представить в виде

$$\Delta K_p = \arctg \left(\frac{M}{S_p} \right), \quad (3)$$

где S_p — расстояние по линии относительного движения в текущий момент времени;
 M — радиальная погрешность положения судна из-за учета неопределенностей в векторах скоростей.

С учетом

$$A^2 = \frac{1}{2} \left(\sigma_{S_p}^2 + \sigma_{V_p}^2 + \sqrt{(\sigma_{S_p}^2 - \sigma_{V_p}^2)^2 + 4R_{S_p V_p}^2} \right) \quad (4)$$

и

$$B^2 = \frac{1}{2} \left(\sigma_{S_p}^2 + \sigma_{V_p}^2 - \sqrt{(\sigma_{S_p}^2 - \sigma_{V_p}^2)^2 + 4R_{S_p V_p}^2} \right), \quad (5)$$

где $\sigma_{S_{pj}}^2$ — дисперсия S_{pj} ;

$\sigma_{V_{pj}}^2$ — дисперсия V_{pj} ;

угол изменения ЛОД ΔK_p принимает вид

$$\Delta K_p = \arctg\left(\frac{M}{S_p}\right) = \arctg\left(\frac{\sqrt{A^2 + B^2}}{S_p}\right) = \arctg\left(\frac{\sqrt{\left(\frac{1}{2}\left(\sigma_{S_p}^2 + \sigma_{V_p}^2 + \sqrt{(\sigma_{S_p}^2 - \sigma_{V_p}^2)^2 + 4R_{S_p V_p}^2}\right)\right) + \frac{1}{2}\left(\sigma_{S_p}^2 + \sigma_{V_p}^2 - \sqrt{(\sigma_{S_p}^2 - \sigma_{V_p}^2)^2 + 4R_{S_p V_p}^2}\right)}}{S_p}\right), \quad (6)$$

откуда следует

$$\Delta K_p = \arctg\left(\frac{\sqrt{\sigma_{S_p}^2 + \sigma_{V_p}^2}}{S_p}\right). \quad (7)$$

В выражении (7) показана аналитическая зависимость минимально допустимого угла изменения ЛОД для обеспечения заданного уровня безопасности расхождения судов с учетом прогноза влияния неопределенностей параметров движения с известной долей вероятности. Таким образом, на данном этапе была рассмотрена ситуация, когда одно судно (судно 1) наблюдает другое (судно 2). Для безопасного расхождения судов был построен эллипс погрешностей или РСКП (в зависимости от возможности построения). Но, если учитывать, что на (судне 2), также для безопасного расхождения с судном 1, выполняют построение области ошибок, то в расчетах появляется два эллипса. При этом сумма двух или нескольких эллиптических погрешностей также характеризуется эллиптической погрешностью [4]. Данная ситуация рассмотрена на рис. 3. Следовательно, исходя из поставленной задачи, судно должно изменить свой курс или скорость таким образом, чтобы его ЛОД не заходил в построенную область ошибок.

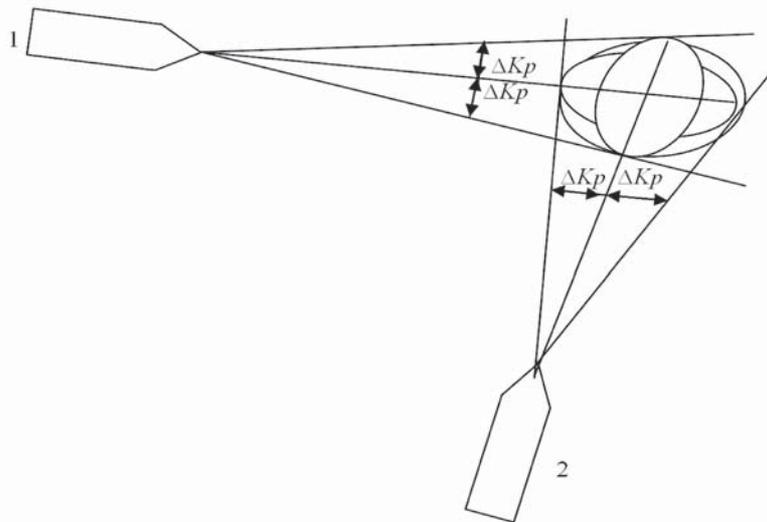


Рис. 3. Суммарный эллипс погрешности при расхождении судов

В рассмотренной задаче, согласно правилам МППСС-72, судно 1 должно изменить свой курс вправо и/или уменьшить скорость, так как оно наблюдает судно 2 со своего правого борта [5]. При изменении курса угол отворота не должен быть меньше, чем угол изменения курса ΔK_p . Как

отмечалось ранее, в настоящее время чаще используется РСКП в связи с тем, что она проще в построении и выражается одним числом. При построении области ошибок при помощи РСКП угол изменения курса ΔK_p напрямую зависит от построенной окружности [6] — рис. 4. Следовательно, $R = \Delta K_p = f(D, S_p, V_p, A, B, \tau)$.

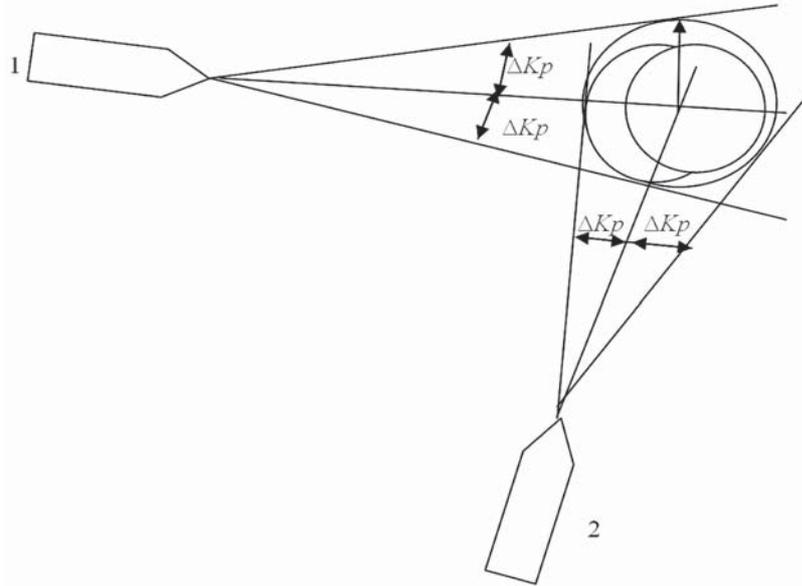


Рис. 4. Суммарная РСКП при расхождении судов

Согласно требованиям ИМО, для 95 % вероятности необходимо умножить результаты расчетов на два, т. е. принимать радиус СКП равным $2M$.

Вероятность нахождения места судна в круге с заданным радиусом M рассчитывается с помощью интеграла [7]:

$$P_{\Delta} = \frac{1}{2\pi AB} \iint_{M_3} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta_A^2}{A^2} + \frac{\Delta_B^2}{B^2} \right) \right] d\Delta_A d\Delta_B \quad (8)$$

За область интегрирования принимается круг радиусом

$$M_3 = RM = R\sqrt{A^2 + B^2}, \quad (9)$$

где M_3 — заданный радиус круга;

R — нормированная радиальная погрешность (коэффициент, показывающий, во сколько раз радиус заданного круга больше среднеквадратичного радиуса M).

При использовании радиальной погрешности элементы эллипса, как правило, не рассчитываются. Для практических расчетов, связанных с анализом навигационной безопасности судовождения, удобно пользоваться формулой, выражающей закон распределения Релея [8]:

$$P = 1 - e^{-M_3^2/M^2} = 1 - e^{-R^2}. \quad (10)$$

Расчет вероятности радиальной погрешности показал следующие значения:

- при $R = 1$ ($M_3 = M$ – РСКП) $P = 0,632 - 0,683$;
- при $R = 2$ ($M_3 = 2M$ – удвоенная радиальная СКП) $P = 0,954 - 0,982$;
- при $R = 3$ ($M_3 = 3M$ – утроенная радиальная СКП) $P = 0,997 - 0,999$.

Для судна 1 ($A_1; B_1$), следовательно $M_1 = \sqrt{A_1^2 + B_1^2}$;

для судна 2 ($A_2; B_2$), следовательно $M_2 = \sqrt{A_2^2 + B_2^2}$.

Тогда $M_{\Sigma} = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$.

В этом случае вероятность правильного решения на маневр будет определяться как вероятность успешного изменения угла ЛОД (ΔK_p), т.е. вероятность ненахождения судна в круге радиусом M [9]. Для решения обратной задачи, т.е. определения минимально допустимого угла ЛОД с предельной вероятностью $P = 0,997(M_3 = 3M)$ необходимо рассчитать угол изменения ЛОД (ΔK_p) для выхода линии из круга радиусом $3M$:

$$\Delta K_p = \arctg\left(\frac{3M_\Sigma}{S_p}\right). \quad (11)$$

Также в общем виде для различных вероятностей формулу (11) можно представить в виде

$$\Delta K_p = \arctg\left(\frac{RM_\Sigma}{S_p}\right). \quad (12)$$

В ходе работы были вычислены углы изменения ЛОД для различных значений вероятностей (рис. 3):

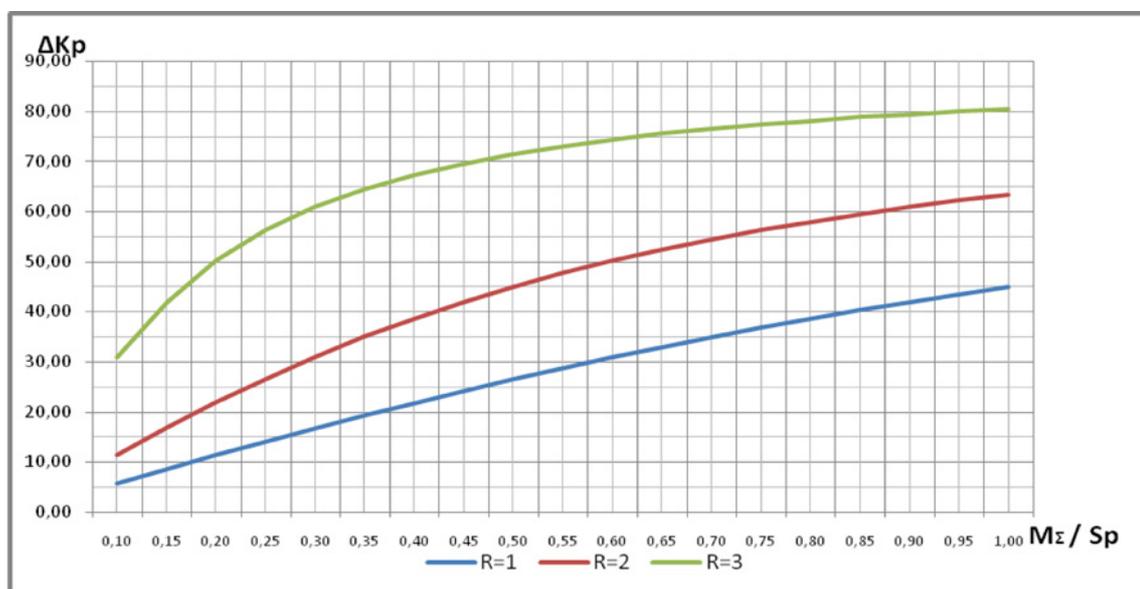


Рис. 5. Зависимость необходимого угла изменения ЛОД от отношения РСКП к дистанции сближения для различных степеней вероятности ненахождения судна в круге радиусом M

Таким образом, уменьшение риска может быть достигнуто при повышении качества принятия решения на маневр. Иными словами, если судоводитель/оператор будет принимать решение на маневр с учетом допустимого ΔK_p , т.е. допустимого ΔK_c , то с определенной долей вероятности точка расхождения судов, т.е. место взаимного относительного положения судов, будет находиться вне (или внутри) пределов эллипса погрешностей, исходя из поставленной задачи безопасного расхождения или сближения вплотную.

Не вызывает сомнения, что учет всех возможных неопределенностей, особенно неопределенности взаимного положения судов, приводит к повышению качества принятия решения на маневр, что, в свою очередь, безусловно, снижает риски неправильного или неэффективного маневра и, как следствие, риски возникновения опасной ситуации. Но поскольку данный метод является довольно трудоемким для повседневного применения вахтенным помощником при ведении расчетов для расхождения с судами, его применения возможно только в автоматизированных комплексах как часть системы управления безопасностью с последующей оценкой риска «сверху» и «снизу».

Эффективность системы управления безопасностью судоходства зависит от степени использования инструментов воздействия на вероятность проявления основных событий, предшествующих

щих риску возникновения аварийной ситуации. Приведем способ расчета характеристик суммарной векторной погрешности, основанной на взаимно-однозначном соответствии корреляционных матриц и параметров рассеивания [10]. Если определить суммарный вектор погрешностей

$$\mathbf{X} = X_1 + X_2, \quad (13)$$

то по определению его корреляционная матрица

$$\mathbf{R}_X = \overline{xx^T} = \overline{(x_1 + x_2)(x_1 + x_2)^T} = \overline{x_1x_1^T} + \overline{x_1x_2^T} + \overline{x_2x_1^T} + \overline{x_2x_2^T} = R_{x_1} + R_{x_1x_2} + R_{x_2x_1} + R_{x_2} \quad (14)$$

при взаимной некоррелированности складываемых векторов ($\mathbf{R}_{x_1x_2} = 0, \mathbf{R}_{x_2x_1} = 0$) определяется суммой корреляционных матриц:

$$\mathbf{R}_X = \mathbf{R}_{x_1+x_2} = \mathbf{R}_{x_1} + \mathbf{R}_{x_2} = \begin{pmatrix} \sigma_{x_1}^2 & \mathbf{R}_{x_1y_1} \\ \mathbf{R}_{x_1y_1} & \sigma_{y_1}^2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sigma_{x_2}^2 & \mathbf{R}_{x_2y_2} \\ \mathbf{R}_{x_2y_2} & \sigma_{y_2}^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & \mathbf{R}_{xy} \\ \mathbf{R}_{xy} & \sigma_y^2 \end{pmatrix}. \quad (15)$$

Корреляционная матрица полностью определяет погрешности счисления при их нормальном распределении. Элементы РСКП будут следующими:

$$\operatorname{tg} 2T' = \frac{2R_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2}; \quad \gamma = \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4R_{xy}^2}; \quad A^2 = \frac{1}{2}(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \gamma); \quad B^2 = \frac{1}{2}(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \gamma). \quad (16)$$

Следовательно, $M = \sqrt{A^2 + B^2} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$.

Рассмотрим в качестве примера следующую задачу. Корабль 1, следуя курсом $K_1 = 0^\circ$, накопил погрешности счисления, характеризуемые эллипсом рассеивания \mathcal{E}_1 с параметрами $A_1 = 3$ кб, $B_1 = 1$ кб, $\tau_{A1} = K_1$. Корабль 2, следуя курсом $K_2 = 30^\circ$, имеет погрешности счисления, характеризующиеся эллипсом рассеивания \mathcal{E}_2 с параметрами $A_2 = 4$ кб, $B_2 = 2$ кб, $\tau_{A2} = K_2$ (рис. 6). Определим параметры эллипса рассеивания, характеризующего суммарную погрешность счисления, накопленную обоими судами. Совместим ось θ_x с линией первого курса.

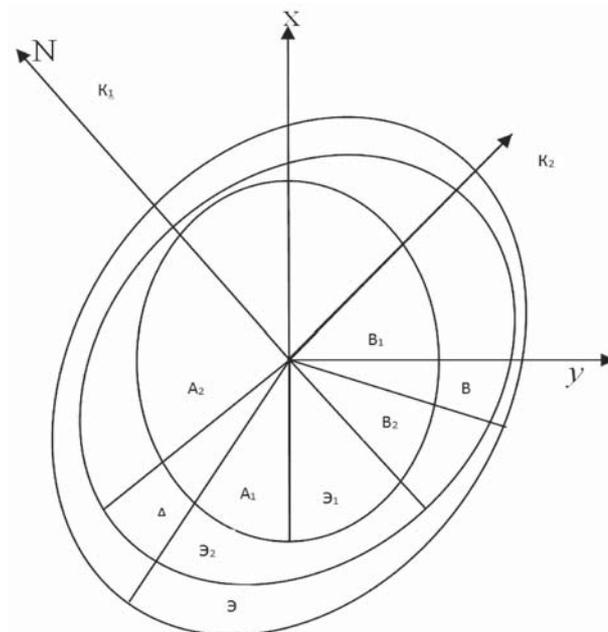


Рис. 6. Эллиптические погрешности и их сумма

Для аналитического решения воспользуемся уравнениями:

$$q'_1 = A_1^2 - B_1^2 = 9 - 1 = 8; \quad q'_2 = A_2^2 - B_2^2 = 16 - 4 = 12;$$

$$\tau'_2 = \tau_{A2} - \tau_{A1} = K_2 - K_1 = 30^\circ; \quad 2\tau_2 = 60^\circ.$$

$$q' = \sqrt{q_1'^2 + q_2'^2 + 2q_1'q_2' \cos 2\tau_2'} = \sqrt{64 + 144 + 2 \cdot 8 \cdot 12 \cdot 0,5} = 17,43;$$

$$\operatorname{tg} 2T' = \frac{q_2' \sin 2\tau_2'}{q_1' + q_2' \cos 2\tau_2'} = \frac{12 \cdot 0,866}{8 + 12 \cdot 0,5} = 0,742;$$

$$2T' = 36,6^\circ; T' = 18,3^\circ; T = K_1 + T' = K_1 + 18,3^\circ.$$

Далее находим полуоси суммарного эллипса погрешностей:

$$A^2 = 0,5(A_1^2 + B_1^2 + A_2^2 + B_2^2 + q') = 0,5(9 + 1 + 16 + 4 + 17,43) = 23,71A = 4,86;$$

$$B^2 = 0,5(A_1^2 + B_1^2 + A_2^2 + B_2^2 - q') = 0,5(9 + 1 + 16 + 4 - 17,43) = 6,26B = 2,50.$$

Таким образом, рассмотрены навигационные параметры как стохастический процесс с некоторыми статистическими характеристиками. При обработке данных навигационных параметров можно рассчитать области неопределенностей судов при расхождении в море, что позволяет оценить появление опасной навигационной ситуации с определенной долей вероятности.

Список литературы

1. Некрасов С. Н. Определение навигационных рисков при имитационном моделировании управления судном при проходе узкости / С. Н. Некрасов, К. И. Ефимов, Д. В. Трененков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 1 (23). — С. 34–36.
2. Груздев Н. М. Навигационная безопасность плавания / Н. М. Груздев. — СПб.: ГУНиО МО РФ, 2002. — 221 с.
3. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втуза / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. — М.: Наука, 1980. — 706 с.
4. Луконин В. П. Теория обработки навигационной информации / В. П. Луконин. — М.: ВУНЦ ВМФ «ВМА», 2010. — 295 с.
5. Коккрофт А. Н. Руководство по правилам предупреждения столкновения (МППСС-72). — А. Н. Коккрофт, Дж. Н. Ф. Ламеер / пер. с англ. Н. Т. Шайхутдинова и К. В. Щиголева. — СПб.: ООО «Морсар», 2005. — 326 с.
6. Груздев Н. М. Математическая обработка и анализ навигационной информации / Н. М. Груздев. — М.: Воениздат, 1979. — 224 с.
7. Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерное приложение / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. — М.: КНОРУС, 2010. — 480 с.
8. Груздев Н. М. Оценка точности морского судовождения. — М.: Транспорт, 1989. — 191 с.
9. Абезгауз Г. Г. Справочник по вероятностным расчетам / Г. Г. Абезгауз, А. П. Тронь, Ю. Н. Копенкин, И. А. Коровина. — М.: Воениздат, 1970. — 536 с.
10. Болдырев В. С. Методы математической статистики в гидрографии и кораблевождении / В. С. Болдырев. — Л.: ВМА, 1974. — 248 с.

УДК 519.68:15:681.5

Б. С. Головченко,
инженер;

В. М. Гриняк,
канд. техн. наук, доц.;

А. С. Девятисильный,
д-р техн. наук, проф.

НЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБ ОПАСНОМ СБЛИЖЕНИИ МОРСКИХ СУДОВ

FUZZY LOGIC DECISION-MAKING SYSTEM FOR SHIPS COLLISION AVOIDANCE

Статья посвящена проблеме управления коллективным движением морских судов. В работе рассматривается модель относительного движения двух судов и предлагается алгоритм выработки тревожных сигналов различного типа в соответствии с вербальным уровнем опасности «судно-судно». В основу разделения навигационных ситуаций по уровням опасности положены интенсивность маневрирования судов и время, оставшееся до недопустимого сближения. Предложена нечеткая система принятия решения об уровне опасности движения, сочетающая в себе системы нечеткого вывода Сугено и Мамдани. Приведены результаты вычислительного эксперимента, демонстрирующего работу системы в типичных ситуациях и натурных испытаний системы на основе реальных данных о движении судов в акватории, прилегающей к порту Владивосток.

The problem of marine vessel traffic control is discussed in this paper. Two ships relative motion model is watched and algorithm of alarm generation is offered. Authors are justifying need separate ships by alarm level in case high intensity of traffic. Ships alarm level estimation based on ship maneuver detector and time to collision. The decision-making system of alarm level based on fuzzy logic system (ANFIS) is offered. It is possible to learn of fuzzy logic system by expert and by training sample for learning. Numerical results are demonstrating decision-making system effectiveness for typical vessel traffic and for traffic of Vladivostok port.

Ключевые слова: управление движением судов, опасное сближение, траектория движения, маневрирование судна, нечеткая система.

Key words: vessel traffic control, collision avoidance, trace, ship maneuver, fuzzy logic system, ANFIS.

Работа поддержана грантом РФФИ, проект №15-08-00234А

УПРАВЛЕНИЕ коллективным движением судов является исключительно емкой научно-технической задачей, изучение которой представляет собой отдельную самостоятельную часть науки об управлении [1]. На практике такое управление реализуется береговыми системами управления движением судов (СУДС) — специализированными предприятиями, основной задачей которых является предотвращение опасных ситуаций, в частности, недопущение опасного сближения судов. Информационной базой современных СУДС являются двухкоординатные радиолокационные станции (РЛС) кругового обзора, дополняемые средствами спутниковой навигации — транспондерами автоматической идентификационной системы (АИС) [2].

Методологической основой распознавания опасного сближения судов является оценка параметров траектории движения каждого судна (координат, скоростей и т.д.) и их экстраполяция. Если суда идентифицированы как опасно сближающиеся, то система управления движением генерирует тревожный сигнал и рекомендации по изменению их траектории.

Управленческое решение, обеспечивающее безопасное движение, зависит от ряда факторов, а именно: скорости судов, расстояния между ними, их размеров, маневренности, характе-

ристик траектории и др. При этом прогнозирование движения судов всегда несет в себе элемент неопределенности, что требует формализации вербального понятия «опасная ситуация» с выделением различных уровней опасности типа «очень опасный», «опасный», «безопасный» и т.д. Такой подход предоставляет возможность судоводителю и оператору береговой СУДС упорядочить свои действия: принимать различные типы решений в ситуациях с различным уровнем опасности и, тем самым, понизить степень неопределенности при принятии конкретного решения.

В работе [3] авторами рассматривалась трехуровневая система принятия решения об опасном сближении судов, в которой признаком, оказывающим влияние на принятие решения об уровне опасности, является характер движения судов (маневрирующие суда считаются менее опасными, чем движущиеся прямолинейно и равномерно). Существенным недостатком данной системы является дискретность величины, описывающей уровень опасности, что затрудняет ее использование при высокой интенсивности движения судов (слишком большое количество судов одновременно имеют один и тот же уровень опасности).

В настоящей работе проведено исследование системы предупреждения об опасном сближении судов, обеспечивающей распознавание опасных ситуаций, и выполняющей оценку уровня опасности непрерывной величиной с использованием идей систем нечеткой логики.

При моделировании навигационной безопасности движения судов прибегнем к традиционным приближениям. Во-первых, безопасность коллективного движения будем интерпретировать моделью безопасности «судно – судно» для каждой пары судов. Во-вторых, в силу того, что контролируемая СУДС акватория ограничена размерами порядка 20–30 км, моделирование будем осуществлять в местной декартовой системе координат. Такой подход применяется во многих известных алгоритмах предупреждения столкновений судов. Если в качестве информационной базы СУДС используется GPS/ГЛОНАСС, то измерение траектории каждого судна включает его координаты, скорость и курс [2].

Пусть oxy — правая ортогональная система координат с осью y , направленной на север, и осью x , направленной, соответственно, на Восток. Рассмотрим два судна с координатами $x^{(1)}$, $y^{(1)}$ и $x^{(2)}$, $y^{(2)}$, скоростями $v^{(1)}$ и $v^{(2)}$ и курсами $k^{(1)}$ и $k^{(2)}$. Будем описывать их коллективное движение набором величин $(r_x, r_y, v_x, v_y)^T$ — вектором состояния коллективного движения двух судов, где $r_x = x^{(2)} - x^{(1)}$, $r_y = y^{(2)} - y^{(1)}$ — компоненты вектора относительного положения судов \mathbf{r} , $v_x = v^{(1)} \sin(k^{(1)}) - v^{(2)} \sin(k^{(2)})$, $v_y = v^{(1)} \cos(k^{(1)}) - v^{(2)} \cos(k^{(2)})$ — компоненты вектора скорости относительного движения судов \mathbf{v} (рис. 1).

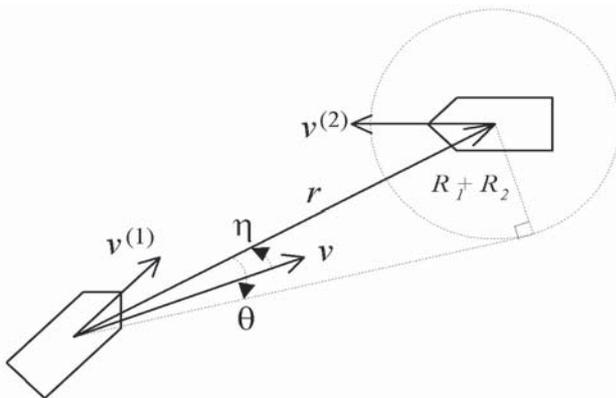


Рис. 1. Модель относительного движения пары «судно – судно»

Примем следующие модельные представления об эволюции вектора состояния коллективного движения:

$$\begin{aligned} r_x(t_{i+1}) &= r_x(t_i) - v_x(t_i)\tau + q_{rx}(t_i); \\ r_y(t_{i+1}) &= r_y(t_i) - v_y(t_i)\tau + q_{ry}(t_i); \\ v_x(t_{i+1}) &= v_x(t_i) + q_{vx}(t_i); \\ v_y(t_{i+1}) &= v_y(t_i) + q_{vy}(t_i). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $\tau = t_{i+1} - t_i$ — разность между соседними моментами времени, в течение которых проходят измерения; $q_{rx}(t_i)$, $q_{ry}(t_i)$, $q_{vx}(t_i)$, $q_{vy}(t_i)$ — случайные не моделируемые параметры движения.

Принятая модель относительного движения судов (1) является кинематической. Такие модели типичны в задачах наблюдения движущихся объектов при отсутствии информации о силах и моментах, обуславливающих движение.

Имеем следующие уравнения измерений:

$$\begin{aligned} z_{rx}(t_i) &= r_x(t_i) + p_{rx}(t_i); \\ z_{ry}(t_i) &= r_y(t_i) + p_{ry}(t_i); \\ z_{vx}(t_i) &= v_x(t_i) + p_{vx}(t_i); \\ z_{vy}(t_i) &= v_y(t_i) + p_{vy}(t_i); \\ i &= \overline{1, N}. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь $z_{rx}(t_i), z_{ry}(t_i)$ — измерения соответствующих проекций вектора относительного положения судов, полученные в момент времени t_i ; $z_{vx}(t_i), z_{vy}(t_i)$ — измерения соответствующих проекций вектора относительной скорости движения судов, полученные в момент времени t_i ; $p_{rx}(t_i), p_{ry}(t_i), p_{vx}(t_i), p_{vy}(t_i)$ — случайные инструментальные ошибки измерений; N — число измерений.

Решением систем уравнений (1) и (2) является оценка вектора состояния коллективного движения двух судов $\hat{\mathbf{s}} = (\hat{r}_x, \hat{r}_y, \hat{v}_x, \hat{v}_y)^T$ в каждый момент времени t_i .

Совокупность величин r_x, r_y, v_x, v_y свидетельствует о потенциально опасном движении двух судов в случае выполнения следующих неформальных условий:

- направление вектора скорости относительного движения судов \mathbf{v} близко к направлению вектора относительного положения судов \mathbf{r} ;
- время, оставшееся до максимального сближения судов, ниже допустимого.

Формализация этих условий определяется конкретной трактовкой понятия «опасная ситуация».

Опыт практического судовождения показывает, что наибольшее значение для обеспечения безопасного плавания имеет соблюдение некой «зоны безопасности» вокруг судна, называемой также *корабельным доменом* [1], [4], в которую другие суда не допускают вторжения. В настоящей работе рассматривается корабельный домен статического типа, жестко привязанный к судну с номером n и интерпретируемый окружностью заданного радиуса R_n .

Введем следующие величины (см. рис. 1):

$$|r| = \sqrt{r_x^2 + r_y^2} \text{ — расстояние между судами;}$$

$$|v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \text{ — скорость относительного движения судов;}$$

$$\theta = \arcsin \frac{R_1 + R_2}{|r|} \text{ — угол, определяемый расстоянием между судами и размерами их доменов.}$$

Считается, что в безопасном состоянии корабельные домены не должны «вторгаться» в область друг друга;

$$\eta = \arccos \frac{r_x v_x + r_y v_y}{|r| |v|} \text{ — угол между векторами } \mathbf{r} \text{ и } \mathbf{v};$$

$$\frac{d|r|}{dt} = -\frac{r_x v_x + r_y v_y}{|r|} \text{ — скорость изменения расстояния между судами;}$$

$$T = -\frac{|r|^2}{r_x v_x + r_y v_y} \text{ — приближенное время, оставшееся до максимального сближения судов.}$$

Потенциально опасное сближение двух судов может быть формализовано следующим образом (считается, что все функции доопределены для корректного вычисления углов и их разностей):

$$\eta < \theta; \quad (3)$$

$$0 < T < T^*, \quad (4)$$

где T^* — пороговое значение времени.

Условие (3) формализует опасную ситуацию при последующем равномерном и прямолинейном движении судов; условие (4) отбирает из общего массива лишь те суда, время до сближения которых меньше порогового.

Что касается маневрирующих судов, то опыт практического судовождения показывает, что при внешнем наблюдении маневрирующие и не маневрирующие суда, с точки зрения

коллективной безопасности их движения, имеют принципиальные различия. Во-первых, при внешнем наблюдении достоверный прогноз траектории маневрирующего объекта невозможен [5]. Во-вторых, на практике маневрирование судна, как правило, свидетельствует о попытке судоводителя придать движению безопасный характер и о его контроле над ситуацией. Поэтому с точки зрения внешнего наблюдения для маневрирующего объекта вербальный уровень опасности заведомо ниже, чем для не маневрирующего. Эта особенность задачи является побудительным мотивом оценки не только набора величин r_x, r_y, v_x, v_y и условий (3), (4), но и дополнительного определения характера движения судов (прямолинейное и равномерное или маневренное).

Таким образом, в настоящей работе ставится задача нахождения по измерениям координат, скоростей и курса каждого судна вектора состояния коллективного движения двух судов $(r_x, r_y, v_x, v_y)^T$, определения характера движения судов и формулировки вывода о той или иной степени опасности сложившейся навигационной ситуации.

Запишем уравнения (1) и (2) в обобщенном виде «состояние – измерение»:

$$\begin{aligned} \mathbf{s}(t_{i+1}) &= \Phi \mathbf{s}(t_i) + \mathbf{q}(t_i); \\ \mathbf{z}(t_i) &= H \mathbf{s}(t_i) + \mathbf{p}(t_i). \end{aligned} \quad (5)$$

Модель оценки вектора состояния $\mathbf{s}(t_i)$ по измерениям $\mathbf{z}(t_i)$ может быть представлена следующим уравнением:

$$\hat{\mathbf{s}}(t_{i+1}) = \Phi \hat{\mathbf{s}}(t_i) + K(\mathbf{z}(t_{i+1}) - H\Phi \hat{\mathbf{s}}(t_i)). \quad (6)$$

Здесь $\hat{\mathbf{s}}(t_i)$ — оценка вектора состояния; Φ, H — матрицы, определяемые уравнениями (1) и (2) соответственно, K — матричный параметр.

Известно множество подходов к заданию матрицы K . В настоящей работе выбор сделан в пользу популярного в практических приложениях алгоритма Калмана [6]. В этом алгоритме коэффициенты матрицы K зависят от порядкового номера момента времени, прошедшего с начала итерационной процедуры (6). Применительно к рассматриваемой задаче коэффициенты матрицы K будут уменьшаться от итерации к итерации. Это приведет к тому, что с ростом числа итераций алгоритм (6) будет успешно оценивать параметры траектории судов, движущихся прямолинейно и равномерно, но он не сможет быть использован для качественной оценки траектории маневрирующих судов. Данная особенность алгоритма позволяет наряду с оценкой координат и скорости движения судна определить характер его движения. Идея такого определителя маневра была предложена авторами в работе [7].

Пусть $\hat{\mathbf{s}}^{(j)}(t_i)$ — оценка вектора состояния $\mathbf{s}(t_i)$, полученная итерационным алгоритмом (6) при обработке J последних измерений. Если при этом задача одновременно решается при $J, J-1, J-2, \dots$, и, наконец, только при одном измерении, то в момент времени t_i будем иметь кортеж векторов оценки:

$$\hat{S}^{(j)}(t_i) = \{\hat{\mathbf{s}}^{(1)}(t_i), \hat{\mathbf{s}}^{(2)}(t_i), \dots, \hat{\mathbf{s}}^{(j-1)}(t_i), \hat{\mathbf{s}}^{(j)}(t_i)\}. \quad (7)$$

Введем вектор $\delta \mathbf{z}(t_{i+1}) = \mathbf{z}(t_{i+1}) - H\Phi \hat{\mathbf{s}}(t_i)$, характеризующий невязку измерения при оценке вектора состояния уравнением (6). Пусть $\|\delta \mathbf{z}(t_i)\|^{(j)}$ — евклидова норма вектора невязки, полученного в момент времени t_i при реализации итерационного алгоритма (6), обрабатывающего J последних измерений. Таким образом, при сопровождении объекта в каждый момент времени t_i наряду с кортежем векторов оценки (7) будем иметь кортеж норм векторов невязок:

$$d^{(j)}(t_i) = \{\|\delta \mathbf{z}(t_i)\|^{(1)}, \|\delta \mathbf{z}(t_i)\|^{(2)}, \dots, \|\delta \mathbf{z}(t_i)\|^{(j-1)}, \|\delta \mathbf{z}(t_i)\|^{(j)}\} \quad (8)$$

элементы которого являются основным информативным признаком, характеризующим качество оценки алгоритмом с тем или иным значением J . Для дальнейшего анализа качества оценки целесообразно перейти к кортежу относительных величин:

$$\Delta^{(j)}(t_i) = \{L^{(1)}(t_i), L^{(2)}(t_i), \dots, L^{(j-1)}(t_i), L^{(j)}(t_i)\} \quad (9)$$

где $L^{(j)}(t_i) = \frac{\|\delta \mathbf{z}(t_i)\|^{(j)}}{\sigma}$; σ — величина, характеризующая среднеквадратичное отклонение евклидовой нормы вектора погрешностей измерений $\mathbf{p}(t_i)$ в уравнении (5).

Введем лингвистическую переменную $Q^{(j)}(t_i)$ «качество оценки алгоритмом (6) по j последним измерениям» с термами «Good» («хорошее») и «Bad» («плохое»). Пусть термы имеют следующие функции принадлежности типа «дополнение», определенные на универсальном множестве $L = [0,3]$:

$$\mu_{\text{Good}}(L) = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-a_L(L - c_L))},$$

$$\mu_{\text{Bad}}(L) = \frac{1}{1 + \exp(-a_L(L - c_L))},$$

где a_L, c_L — настраиваемые параметры.

Пусть переменные $Q^{(j)}(t_i)$ обрабатываются машиной нечеткого вывода Сугено [8], на вход которой подается кортеж величин (9), а на выходе формируется числовое значение $m \in [1, J]$ — вещественное число, соответствующее максимальному количеству измерений, дающих качественную оценку вектора состояния $s(t_i)$ и характеризующее степень интенсивности маневрирования судов (чем меньше m , тем интенсивнее маневр). Машина нечеткого вывода работает согласно системе правил, представленной в табл. 1.

Таблица 1

Система правил машины нечеткого вывода Сугено

| Правило | $Q^{(1)}(t_i)$ | $Q^{(2)}(t_i)$ | $Q^{(3)}(t_i)$ | ... | $Q^{(j-1)}(t_i)$ | $Q^{(j)}(t_i)$ | m |
|---------|----------------|----------------|----------------|-----|------------------|----------------|-------|
| 1 | Good | Good | Good | ... | Good | Good | J |
| 2 | Good | Good | Good | ... | Good | Bad | $J-1$ |
| 3 | Good | Good | Good | ... | Bad | Bad | $J-2$ |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| $J-1$ | Good | Good | Bad | ... | Bad | Bad | 2 |
| J | Good | Bad | Bad | ... | Bad | Bad | 1 |
| $J+1$ | Bad | Bad | Bad | ... | Bad | Bad | 1 |

Введем лингвистическую переменную $P(t_i)$ «характер движения судна в момент времени t_i » с термами «Maneuverable» (маневренное) и «Constant» (равномерное). Пусть термы имеют следующие функции принадлежности типа «дополнение», определенные на универсальном множестве $m \in [1, J]$:

$$\mu_{\text{Maneuverable}}(m) = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-a_m(m - c_m))},$$

$$\mu_{\text{Constant}}(m) = \frac{1}{1 + \exp(-a_m(m - c_m))},$$

где a_m, c_m — настраиваемые параметры.

Введем величину $\alpha = \frac{\eta}{\theta}$ — оцененное отношение угла между векторами \mathbf{r} и \mathbf{v} к углу θ . Введем лингвистическую переменную $D(t_i)$ «оценка отношения α в момент времени t_i » с термами «Big» («большая») и «Little» («малая») и функциями принадлежности типа «дополнение», определенными на универсальном множестве $\alpha \in [0,2]$:

$$\mu_{\text{Little}}(\alpha) = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-a_{\alpha}(\alpha - c_{\alpha}))};$$

$$\mu_{\text{Big}}(\alpha) = \frac{1}{1 + \exp(-a_{\alpha}(\alpha - c_{\alpha}))}.$$

Здесь a_{α} , c_{α} — настраиваемые параметры. Терм «Little» соответствует ситуации, когда возможно опасное сближение судов, терм «Big» — безопасной ситуации.

Для описания величины T (приближенное время, оставшееся до максимального сближения судов) введем лингвистическую переменную $F(t)$ «оценка величины T в момент времени t » с термами «Little» («малое»), «Average» («среднее») и «Large» («большое») и функциями принадлежности типа «кластер», определенными на универсальном множестве $T \in [0, 2000]$ с:

$$\mu_{\text{Little}}(T) = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-a_1^T(T - c_1^T))};$$

$$\mu_{\text{Average}}(T) = \exp\left(-\frac{(T - c_2^T)^2}{a_2^T}\right);$$

$$\mu_{\text{Large}}(T) = \frac{1}{1 + \exp(-a_3^T(T - c_3^T))}.$$

Здесь a_1^T , c_1^T , a_2^T , c_2^T , a_3^T , c_3^T — настраиваемые параметры.

Описание лингвистической переменной $F(t)$ тремя термами соответствует трем принятым на практике состояниям времени максимального сближения [9]. В данном случае терм «Little» определяет время, когда существует возможность принятия только одного решения, которое поможет избежать столкновения, терм «Average» — время, необходимое для грамотного проведения оптимального маневра, т.е. время, когда начинать маневр уже не рано, но еще есть время исправить результат ошибочного маневрирования, сделать «вторую попытку»; это период, когда критическая ситуация пока еще не возникла. Терм «Large» описывает время, когда еще нет никакого смысла предпринимать какие-либо действия, так как ситуация может измениться и это потребует, возможно, выполнения совсем другого маневра.

Уровень опасности ситуации U будем описывать лингвистической переменной $A(t)$ «уровень опасности в момент времени t » с термами «Green» («безопасно»), «Yellow» («почти безопасно») и «Red» («опасно») и функциями принадлежности типа «кластер», определенными на универсальном множестве $U \in [0, 2]$:

$$\mu_{\text{Green}}(U) = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-a_1^U(U - c_1^U))};$$

$$\mu_{\text{Yellow}}(U) = \exp\left(-\frac{(U - c_2^U)^2}{a_2^U}\right);$$

$$\mu_{\text{Red}}(U) = \frac{1}{1 + \exp(-a_3^U(U - c_3^U))}.$$

Здесь a_1^U , c_1^U , a_2^U , c_2^U , a_3^U , c_3^U — настраиваемые параметры. Переменные $P(t)$, $D(t)$ и $F(t)$ обрабатываются машиной нечеткого вывода Мамдани [8], на вход которой подаются величины m , α и T , а на выходе формируется числовое значение $U \in [0, 2]$ — уровень опасности навигационной си-

туации «судно – судно»; значение $U = 0$ соответствует наименьшему уровню опасности, $U = 2$ — наибольшему.

Машина нечеткого вывода работает согласно системе правил, представленной в табл. 2. Так, *правило 8* табл. 2 соответствует ситуации, когда суда могут недопустимо сблизиться, если не изменят траекторию движения, но имеется достаточный запас времени для выбора наиболее подходящего маневра, *правило 9* — ситуации, когда нужно начинать маневр уклонения как можно быстрее, *правило 12* — ситуации, когда суда могут недопустимо сблизиться, если не изменят траекторию, однако, скорее всего, они уже начали маневр уклонения.

Таблица 2

Система правил машины нечеткого вывода Мамдани

| Правило | $D(t_i)$ | $P(t_i)$ | $F(t_i)$ | P_U |
|---------|----------|--------------|----------|--------|
| 1 | Big | Constant | Large | Green |
| 2 | Big | Constant | Average | Green |
| 3 | Big | Constant | Little | Green |
| 4 | Big | Maneuverable | Large | Green |
| 5 | Big | Maneuverable | Average | Green |
| 6 | Big | Maneuverable | Little | Green |
| 7 | Little | Constant | Large | Green |
| 8 | Little | Constant | Average | Yellow |
| 9 | Little | Constant | Little | Red |
| 10 | Little | Maneuverable | Large | Green |
| 11 | Little | Maneuverable | Average | Green |
| 12 | Little | Maneuverable | Little | Yellow |

Работу нечеткой системы предупреждения об опасном сближении судов можно, таким образом, окончательно представить схемой, приведенной на рис. 2.

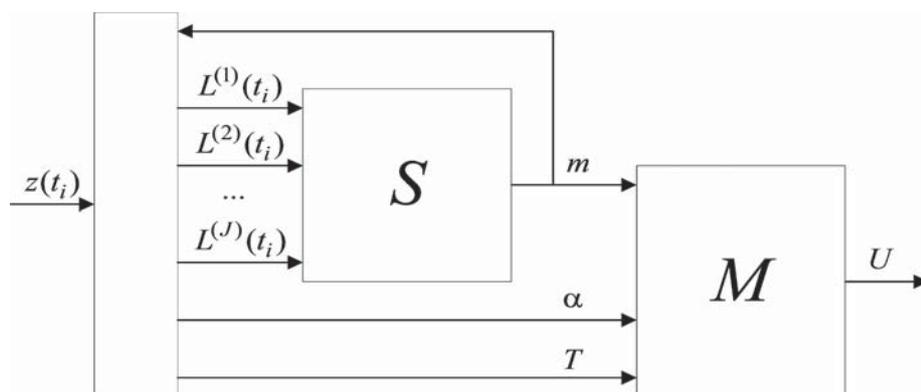


Рис. 2. Схема работы нечеткой системы предупреждения об опасном сближении судов

Измеренные данные об относительном движении судов $z(t_i)$ поступают на вход алгоритма, оценивающего вектор состояния $s(t_i)$ системы (6) и формирующего кортеж (9). Далее машина нечеткого вывода Сугено S оценивает степень интенсивности маневрирования судов m . С учетом этого значения из кортежа (8) выбирается вектор $\hat{s}^{(m)}(t_i)$, на основе которого вычисляются величини-

ны α и T . Затем величины m , α и T подаются на вход машины нечеткого вывода Мамдани M , выходом которой является уровень опасности ситуации $U \in [0,2]$.

Настройка рассмотренной системы состоит в задании максимального количества измерений J , параметров функций принадлежности $a_m, c_m, a_\alpha, c_\alpha, a_1^T, c_1^T, a_2^T, c_2^T, a_3^T, c_3^T, a_1^U, c_1^U, a_2^U, c_2^U, a_3^U, c_3^U$ и величины σ , характеризующей погрешность измерений.

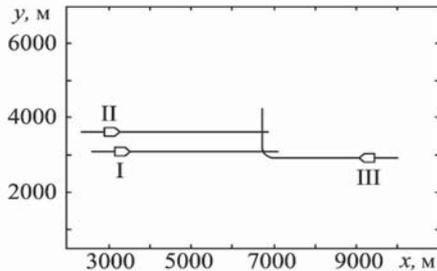


Рис. 3. Моделируемые траектории движения судов

Для демонстрации работы описанной системы рассмотрим модельный пример для трех судов. Два из них (*I* и *II*) движутся со скоростью 5 м/с прямолинейно и равномерно, третье (*III*) — маневрирует (рис. 3).

Было принято, что измерения поступают каждые $\tau = 3$ с. С учетом типичных измерительных погрешностей GPS σ было принято равным 15. Максимальное количество измерений для оценки траектории j было взято равным 10. Значения коэффициентов функций принадлежности были взяты таким образом, что функции приобрели вид, показанный на рис. 4. В данном случае все функции принадлежности задаются экспертом, нечеткая система не подвергается настройке на обучающей выборке, хотя такой вариант обучения принципиально возможен.

система не подвергается настройке на обучающей выборке, хотя такой вариант обучения принципиально возможен.

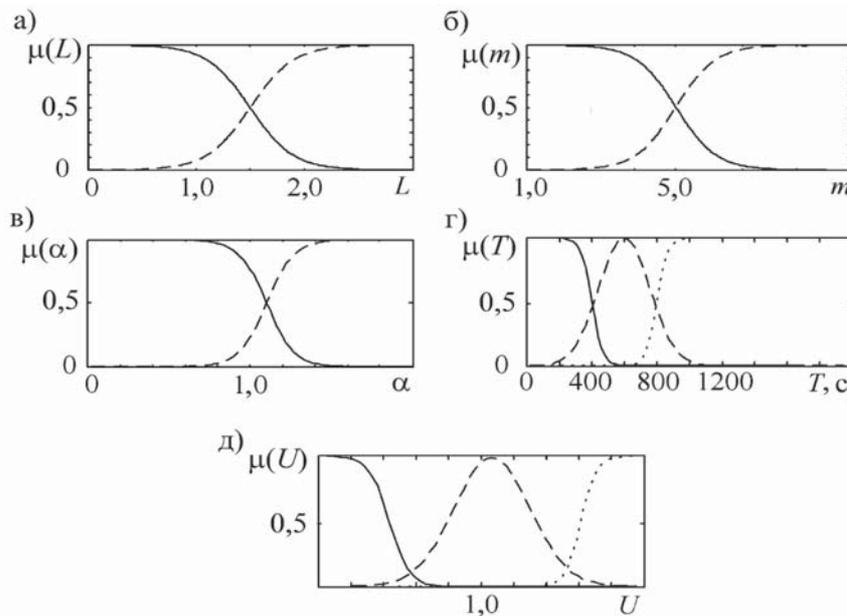


Рис. 4. Функции принадлежности нечеткой системы:

a — $\mu_{\text{Good}}(L)$ — сплошная; $\mu_{\text{Bad}}(L)$ — пунктир; b — $\mu_{\text{Maneuverable}}(m)$ — сплошная; $\mu_{\text{Constant}}(m)$ — пунктир;
 v — $\mu_{\text{Little}}(\alpha)$ — сплошная; $\mu_{\text{Big}}(\alpha)$ — пунктир; $г$ — $\mu_{\text{Little}}(T)$ — сплошная; $\mu_{\text{Average}}(T)$ — пунктир;
 $\mu_{\text{Large}}(T)$ — точки; $д$ — $\mu_{\text{Green}}(U)$ — сплошная; $\mu_{\text{Yellow}}(U)$ — пунктир; $\mu_{\text{Red}}(U)$ — точки

На рис. 5а и б показаны значения α , на рис. 5в и г — значения m , на рис. 5д и е — значения T , на рис. 5ж и з — значения U . Штриховкой на рис. 5ж и з обозначена зона уровня опасности «Yellow», ниже нее — зона уровня «Green», выше — зона уровня «Red». Из рис. 5д видно, что уровень опасности для пары судов *I* — *III* постоянно повышается, по мере их сближения, достигая уровня «Red» при $t = 350$ с. При $t = 600$ с судно *III* начинает маневр уклонения поворотом вправо, после чего уровень опасности для пары судов *I* — *III* быстро снижается до уровня «Yellow» и затем до уровня «Green». Из рис. 5з видно, что суда *II* и *III* вначале движутся безопасно. Однако после начала судном *III* маневра уровень опасности для пары судов *II* — *III* скачко-

образно увеличивается до «Yellow», а, затем, по мере продолжения поворота судна III, снижается до уровня «Green».

Снижение уровня тревоги с максимального «Red» до «Yellow» происходит почти сразу после начала маневрирования (рис. 5ж), для судов II и III генерация уровня тревоги «Yellow» также происходит заблаговременно (рис. 5з). Это свидетельствует о способности предлагаемой нечеткой системы как к предупреждению об опасности, так и к фильтрации ложных тревог. Подтверждается ожидаемый эффект разделения уровней опасности в зависимости от траекторных свойств движения судов.

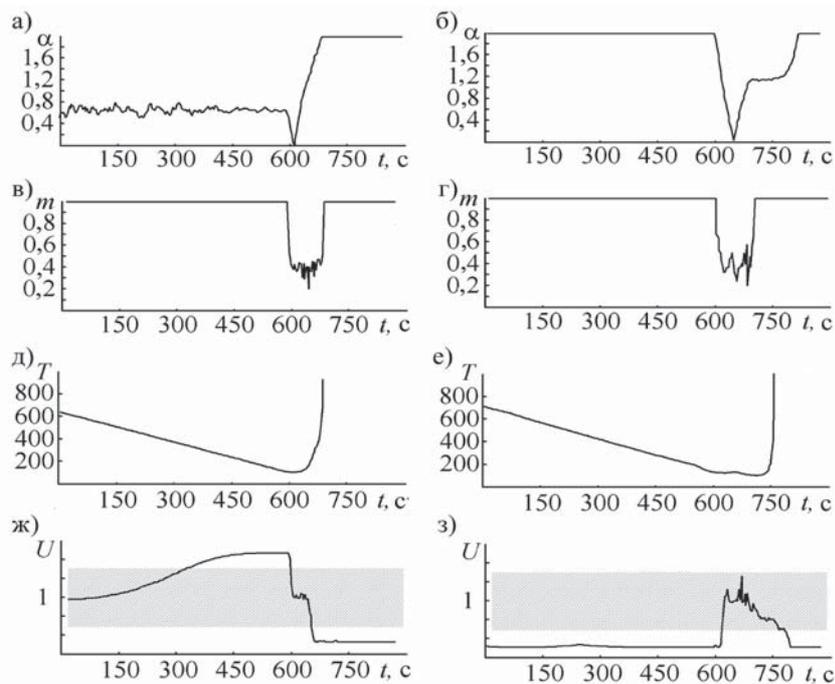


Рис. 5. Работа нечеткой системы предупреждения об опасном сближении морских судов для судов I-III (левая колонка рисунков) и II-III (правая колонка рисунков)

Испытание разработанной системы проводилось на основе реальных данных о движении судов по акватории, прилегающей к порту Владивосток [10]. Приведенный на рис. 6 типичный пример был получен по результатам анализа данных о движении судов в течение одних суток летом 2013 г. В это время в зоне ответственности СУДС одновременно находилось около 80 судов. На рис. 6 показано положение судов на акватории в те моменты времени, когда для них был сгенерирован тревожный сигнал уровня «Yellow» (желтые кружки) или «Red» (красные кружки). Видно, что наибольшее количество тревог возникает во внутренних портовых водах, где суда располагаются близко друг к другу и высока интенсивность движения малых плавсредств (катеров, буксиров). Оба уровня тревоги имеют место также при движении судов вне портовых вод: Амурском (слева) и Уссурийском (справа) заливах, проливе Босфор Восточный. Доля тревожных сигналов уровня «Yellow» составляет около 20 %, места их генерации не образуют устойчивых зон.

Для оператора (диспетчера) СУДС генерация тревожного сигнала уровня «Red» означает, что необходимо немедленно обратить внимание на ситуацию и принять решение о вмешательстве/невмешательстве в действия судоводителя. Генерация тревожного сигнала уровня «Yellow» означает, что хотя ситуация не является полностью безопасной, вмешиваться в нее немедленно не следует: скорее всего, судоводитель сам контролирует обстановку. Другими словами, если одновременно с ситуацией уровня «Yellow» для других судов имеются ситуации уровня «Red», то оператор СУДС должен работать, прежде всего, с ними. Тот факт, что на конкретной акватории доля

ситуаций уровня «Yellow» достаточно значительна (20 %), свидетельствует о том, что их выделение способно существенно снизить нагрузку на операторов СУДС.

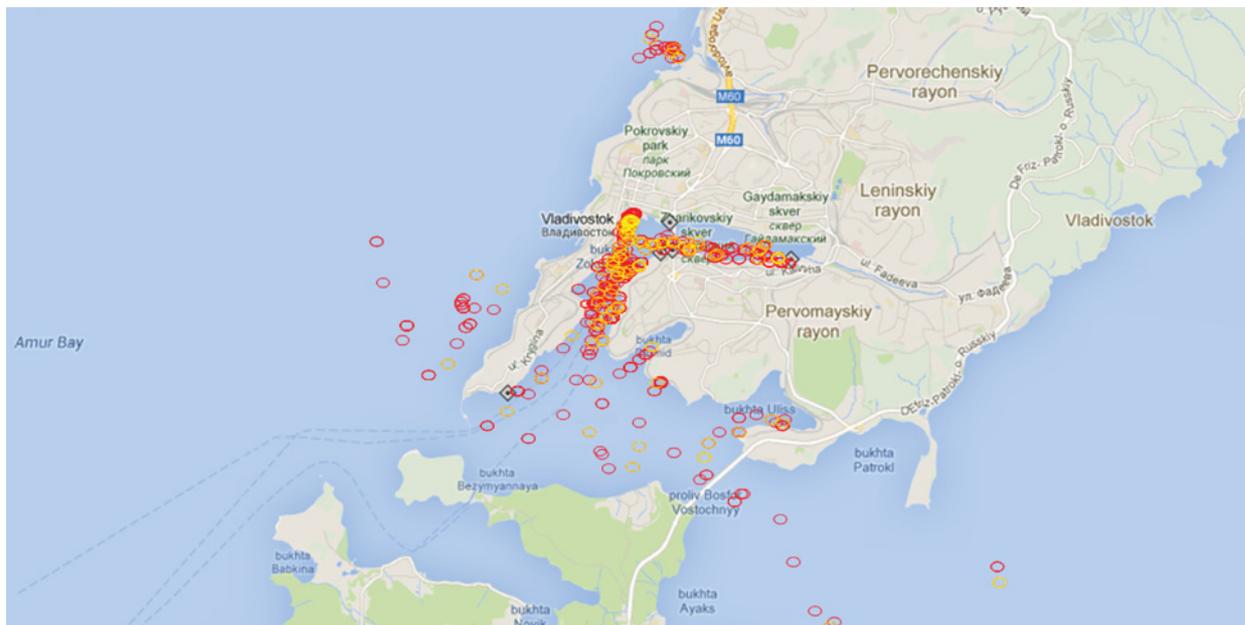


Рис. 6. Движение судов по акватории порта Владивосток

Таким образом, испытание разработанной системы на основе реальных данных о движении судов подтвердило ее работоспособность и эффективность, а также перспективность практического использования. Предложенная цветовая интерпретация уровней тревоги интуитивно понятна судоводителям и операторам СУДС, она способствует принятию адекватных управленческих решений и направлена на повышение безопасности движения. Результаты работы ориентированы на расширение навигационных функций современных систем управления движением судов.

Список литературы

1. Tam Ch. K. Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters / Ch. K. Tam, R. Bucknall, A. Greig // J. of Navigation. — 2009. — Vol. 62. — № 3. — P. 455–471.
2. Маринич А. Н. Судовая автоматическая идентификационная система АИС / А. Н. Маринич. — М.: Судостроение, 2004. — 180 с.
3. Гриняк В. М. Прогнозирование опасных ситуаций при управлении движением на море / В. М. Гриняк, А. С. Девятисильный // Изв. РАН. Теория и системы управления. — 2004. — № 3. — С. 127 — 136.
4. Егоров И. Б. Концепция зон навигационной безопасности и ее применение в судовождении / И. Б. Егоров, В. А. Логиновский // Эксплуатация морского транспорта. — 2012. — № 3. — С. 13 — 17.
5. Мироненко А. А. Модель программного движения судна в стесненных водах / А. А. Мироненко // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2013. — № 2. — С. 65–70.
6. Медич Дж. Статистически оптимальные линейные оценки и управление / Дж. Медич. — М.: Энергия, 1973. — 440 с.
7. Гриняк В. М. Нечеткое сопровождение траектории движения судна / В. М. Гриняк, М. В. Трофимов // Журнал университета водных коммуникаций. — 2012. — № 1. — С. 119–124.
8. Круглов В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. — М.: Физматлит, 2001. — 224 с.

9. Коноплев М. А. Применение аппарата нечеткой логики для определения уровня опасности столкновения / М. А. Коноплев // Эксплуатация морского транспорта. — 2009. — № 2. — С. 34–39.

10. Головченко Б. С. Информационная система сбора данных о движении судов на морской акватории / Б. С. Головченко, В. М. Гриняк // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 2. — С. 156–162.

УДК 656.61.052

В. Е. Львов,
ассист.

КОМПЕНСАЦИЯ ВОЛНОВОГО И ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ КУРСОМ СУДНА

COMPENSATION OF WAVE AND WIND EFFECTS ON THE SHIP'S COURSE MANAGEMENT SYSTEM

Рассмотрена система управления курсом в шторм, в которую введены новые элементы и установлены функциональные связи по ветру и волнению, которые позволяют повысить надежность работы системы, ее быстродействие и экономичность, особенно в штормовых условиях. Выполнено введение в контур регулирования устройств расчета угла ветрового и волнового дрейфа и введение их значений в датчик курса, что позволило повысить точность управления по заданному курсу. Рассмотрен способ повышения точности определения угла компенсации за счет учета волновой составляющей, что позволяет уменьшить нагрузку на рулевую машину и создает условия для оптимизации ее использования в шторм и автоматизации управления судном при движении по криволинейным траекториям. Приведённые результаты могут быть использованы в бортовых системах управления на судне, учебном процессе на старших курсах морских учебных заведений и на курсах повышения квалификации.

Achieved an introduction to the control circuit device for calculating the angle of wind and wave drift and the introduction of their values in the course of the dial, thus improving the accuracy of control for a given course. Look at ways to improve the accuracy of determining the angle compensation by taking into account the wave component, which reduces the load on the steering apparatus and creates conditions for the optimization of its use in a storm and automation control of the vessel when driving through curves.

These results can be used in on-board control systems on board, the educational process in the senior class of maritime education and training courses.

Ключевые слова: система управления курсом, новые функциональные связи, расчет угла ветрового и волнового дрейфа, угол компенсации, оптимизация работы рулевой машины в шторм.

Key words: control system by a course, new functional connections, calculation of corner of wind and wave drift, corner of indemnification, optimization of work of steering machine in a storming weather.

ВНЕШНИЕ возмущения на судно как объект управления движением формируются в условиях ветра, волнения, течения и воздействия мелководья. Проявление внешних возмущений связано с увеличением сопротивления движению, существенным ухудшением управляемости, падением скорости хода и изменением посадки судна. Расчетные алгоритмы по учету их влияния на процесс маневрирования в настоящее время созданы не для всех видов возмущений.

Оценка внешних сил волновой природы представляет сложный теоретико-экспериментальный процесс. Известен ряд исследований в этой области, выполненный специалистами в области гидромеханики судна. Полученные результаты могут быть использованы при создании систем автоматической стабилизации судов на курсе.

В работе [1] рассмотрены способы расчета параметров состояния судна при движении в условиях шторма и использования их для выбора режимов движения судна. Однако вопросы оценки воздействия возникающего при этом волнения на движение судна не рассмотрены. Теоретические основы формирования сигналов управления на исполнительные органы для управления курсом и процессом маневрирования судна на спокойной воде приведены в работе [2].

В работе [3] проанализированы принципы построения, теория, моделирование и синтез систем управления подвижными морскими объектами широкого класса. Для расчета влияния волнения, выполненного на основе линейной теории качки, предложено определять проекции силы от волнения на координатные оси движения судна с помощью следующей зависимости, предложенной Я.И. Войткунским:

$$R_{vy} = 0,5\rho \cdot L \cdot h_{3\%} \cdot K_{vy}, \quad (1)$$

где R_{vy} — поперечная составляющая возмущающих сил от волнения; ρ — плотность морской воды; L — длина судна между перпендикулярами; $h_{3\%}$ — высота волны 3 % обеспеченности; K_{vy} — безразмерный волновой коэффициент, который зависит от размеров судна, длины волны и ее курсового угла.

Высота волны 3 % обеспеченности $h_{3\%}$:

$$h_{3\%} = 0,03W_n^2, \quad (2)$$

где W_n — скорость истинного ветра.

С учетом приведенной формулы (2) зависимость (1) представлена в виде

$$R_{vy} = 15 \cdot 10^{-3} \rho L \cdot K_{vy} W_n^2 = C_v W_n^2, \quad (3)$$

где C_v — коэффициент волновой возмущающей силы.

В работах [4], [5] рассмотрены методы адаптивного управления курсом судна при использовании ПИД-регуляторов без оценки ветроволновых возмущений. Работа [6] содержит способы улучшения работы системы управления курсом путем введения в ее состав корректирующего элемента, который по истинным параметрам ветра вырабатывает дополнительное управляющее воздействие δ_k , устанавливая рулевой привод на этот угол. В результате интегральная оценка переходного процесса существенно уменьшается до величины, сравнимой с погрешностью расчета значения угла компенсации, за счет чего уменьшается также нагрузка на рулевое устройство в штормовых условиях, производится адаптация системы управления к внешним воздействиям и повышается ее быстродействие.

В настоящей статье обосновывается выбор оценки необходимой компенсации волнового воздействия на систему управления курсом. При расчете возмущающих сил от волнового воздействия можно использовать два способа. Первый основан на методике Я. И. Войткунского [3], в которой сила воздействия на судно от волнения, рассчитывается по формуле (3). Недостаток этого способа заключается в том, что коэффициент возмущающей силы C_v определяется по приближенным эмпирическим зависимостям, имеющим существенные ограничения. Второй способ основан на определении коэффициентов волновых сил по эмпирическим зависимостям. В работе [7] приведена методика определения безразмерных коэффициентов волновых сил по пространственным осям $X(C_x^w)$, $Y(C_y^w)$ и момента C_m^w по результатам испытаний судов в натуральных условиях и их моделей в бассейне, а также соответствующие эмпирические зависимости:

$$C_x^w = 0,062 \frac{B}{T} - 0,0085 \frac{L}{T} + 0,328\delta_v; \quad (4)$$

$$C_y^w = 0,0823 \frac{L}{B} + 2,56 \frac{T}{L} + 0,903\delta_v^2; \quad (5)$$

$$C_m^w = 0,15\delta_v + 0,197\delta_v^2 - 0,00373 \frac{L}{T}, \quad (6)$$

где B — ширина судна; T — средняя осадка; L — длина судна по КВЛ; δ_v — коэффициент общей полноты судна.

Эмпирические зависимости справедливы при изменении главных размеров в следующих диапазонах:

- отношение длины к осадке $10,0 < \frac{L}{T} < 23,0$;
- отношение ширины к осадке $1,0 < \frac{B}{T} < 3,7$;
- отношение длины к ширине $5,0 < \frac{L}{B} < 12,0$;
- коэффициент общей полноты $0,6 < \delta_v < 0,8$.

Величины составляющих волновой силы X_w , Y_w и момента M_w при нерегулярном волнении определяются по частотному составу последовательности регулярных волн:

$$X_w = C_x^w (0,1 - \cos q_w) \cdot \rho \cdot g \cdot L \left(\frac{h_{3\%}}{2} \right)^2 \cdot e^{-A_0 \frac{\lambda}{L}} \left(1 + A_1 \frac{V_n}{V_w} \right); \quad (7)$$

$$Y_w = C_y^w \cdot \sin q_w \cdot \rho \cdot g \cdot L \left(\frac{h_{3\%}}{2} \right)^2 \cdot e^{-A_0 \frac{\lambda}{L}} \left(1 + A_1 \frac{V_n}{V_w} \right); \quad (8)$$

$$M_w = C_m^w \frac{\sin(2q_w)}{1 + \frac{\pi - |q_w|}{\pi}} \cdot \rho \cdot g \cdot L^2 \cdot \left(\frac{h_{3\%}}{2} \right)^2 \cdot e^{-A_0 \frac{\lambda}{L}} \left(1 + A_1 \frac{V_n}{V_w} \right), \quad (9)$$

где q_w — курсовой угол бега волн; g — ускорение свободного падения; A_0 — эмпирический коэффициент, учитывающий соотношение длины волны и судна (рекомендуется принимать $A_0 = 0,33$); λ — длина регулярной волны; A_1 — эмпирический коэффициент, учитывающий степень влияния скорости движения судна на силы от волнения $A_1 \in [1,0; 8,5]$; V_n — составляющая скорости движения судна, направленная вдоль направления бега волн; V_w — скорость бега волн.

Для выполнения расчетов используется двухпараметрический спектр реального морского волнения [7]. В работах [8] – [10] приведены справочные данные для выполнения расчетов.

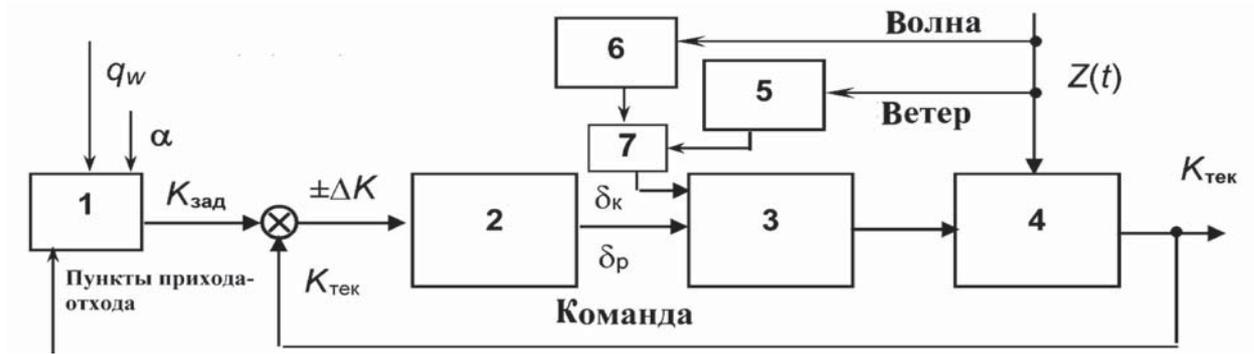
Величина плеча силы волновой природы l_w определяется путем деления формулы (9) на (8). В результате получим

$$l_w = \frac{C_x^w}{C_y^w} \frac{\sin(2q_w)}{\sin q_w} \cdot \frac{2 - q_w / \pi}{2 - q_w / \pi} \cdot L. \quad (10)$$

Приведенные расчетные зависимости позволяют ввести новые элементы и связи в систему управления курсом судна в штормовую погоду и обеспечить функционирование второго канала компенсационного управления по волновому сопротивлению корпуса. Введение второго компенсационного канала повышает упрежденность системы при использовании двух пропорциональных сигналов от ветра и волнения отдельно. Структурная схема системы управления курсом судна приведена на рисунке.

Система управления функционирует следующим образом. По координатам пунктов прихода и отхода в блоке 1 определяется значение $K_{зад}$, которое поступает на устройство сравнения. По каналам обратной связи сюда же поступает текущее значение курса $K_{тек}$, и при несовпадении заданного и фактического состояния $\pm \Delta K$ информационное управляющее устройство вырабатывает команду средствам управления для приведения объекта маневрирования в заданное состояние.

При появлении внешних возмущений включаются два канала компенсационного управления по ветру 5 и по волнению 6. Указанные элементы производят расчет исходных данных для определения угла компенсации с учетом ветра и волнения. В блок 7 от блоков 5 и 6 поступают значения угла ветрового и волнового дрейфа, которые вводят поправку δ_p .



Структурная схема системы управления курсом судна:

q_w — курсовой угол бега волн; α — угол ветрового дрейфа;

1 — задатчик курса; 2 — информационно-управляющее устройство; 3 — устройство управления;

4 — объект управления; 5 — компенсатор ветрового воздействия;

6 — компенсатор волнового воздействия;

7 — блок расчета угла компенсации δ_k для устройства управления;

δ_p — угол перекаладки руля; $Z(t)$ — внешние возмущения

Для уменьшения угла и числа перекаладок руля был введен корректирующий элемент, который производит вычисление значения угла компенсации δ_k по формуле [6]:

$$\delta_k = \frac{1 + (2/\lambda_p)}{S_p \cdot \rho} \cdot \left[\left(0,25 + \frac{l_{\text{ЦП}}}{L} - \frac{q_w}{360} \right) \cdot 0,37 \sin(q_w) \cdot \rho_v \cdot S_n \frac{W^2}{V_n^2} + \left(0,5 + \frac{l_{\text{ЦБС}}}{L} - \frac{\alpha}{180} \right) \cdot \frac{0,23 \sin \alpha + 1,09 \sin^2 \alpha}{(2,1\delta_{\text{ОП}} - 7T/L)^2} \cdot \rho \cdot S_n \right], \quad (11)$$

где λ_p — относительное удлинение руля; S_p — площадь пера руля; $l_{\text{ЦП}}$ — отстоящие центра парусности от мидель-шпангоута; L — длина судна между перпендикулярами; q_w — курсовой угол кажущегося ветра; ρ_v — массовая плотность ветра; S_n — площадь проекции надводной части корпуса судна на диаметральную плоскость; W — скорость кажущегося ветра; V_n индекс «л» — скорость судна по лагу; $l_{\text{ЦБС}}$ — отстояние центра бокового сопротивления от мидель-шпангоута, его можно приближенно оценить по формуле [6]:

$$l_{\text{ЦБС}} = \frac{1 + 2T_n / T_k}{3(1 + T_n / T_k)} - 0,5, \quad (12)$$

где α — угол ветрового дрейфа; $\delta_{\text{ОП}}$ — коэффициент общей полноты; T — средняя осадка; T_n и T_k — осадка носом и кормой соответственно; S_n — площадь проекции подводной части корпуса судна на диаметральную плоскость.

Для уточнения расчета угла компенсации δ_k введен момент от волновой составляющей (9). Тогда формула для расчета совместного угла компенсации от ветра и волнения примет вид

$$\delta_k = \frac{1 + (2/\lambda_p)}{S_p \cdot \rho} \left\{ \left[\left(0,25 + \frac{l_{\text{ЦП}}}{L} - \frac{q_w}{360} \right) \cdot 0,37 \sin q_w \cdot \rho_v \cdot S_n + \left(0,5 + \frac{l_{\text{ЦБС}}}{L} - \frac{\alpha}{180} \right) \cdot \frac{0,23 \sin \alpha + 1,09 \sin^2 \alpha}{(2,1\delta_{\text{ОП}} - 7 \cdot T / L)^2} \cdot \rho \cdot S_n \right] + \left[C_m^w \cdot \frac{\sin(2q_w)}{1 + \frac{\pi - |q_w|}{\pi}} \cdot \rho \cdot g \cdot L^2 \cdot \left(\frac{h_{3\%}}{2} \right)^3 \cdot e^{-A_0 \frac{\lambda}{L}} \cdot \left(1 + A_1 \frac{V_n}{V_w} \right) \right] \right\}. \quad (13)$$

В блоке расчета 7 предусмотрена оценка потери управляемости, что позволяет своевременно принять меры по ее сохранению.

Для компенсации постоянных воздействий ветроволновых внешних факторов на судно руль перекачивается на постоянный угол δ_k , и для удержания судна на курсе в условиях шторма происходит манипулирование рулем на угол δ_b около δ_k . Потеря управляемости наступает тогда, когда $\delta_k + \delta_b > \delta_{\max} = 35^\circ$. Введение в состав системы управления рулем новых элементов и установление функциональных связей по ветру и волнению позволяют повысить надежность работы системы, ее быстродействие и экономичность, особенно в штормовых условиях. Включение в контур регулирования устройств расчета угла ветрового и волнового дрейфа и введение их значений в задатчик курса позволяет повысить точность управления по заданному курсу.

Повышение точности определения угла компенсации за счет учета волновой составляющей позволяет уменьшить нагрузку на рулевую машину и создает условия для оптимизации ее использования в шторм и автоматизации управления судном при движении по криволинейным траекториям. Полученные результаты необходимы для выполнения научных исследований по разработке устройств для настройки авторулевого в шторм и создания самонастраивающихся систем управления.

Список литературы

1. *Бородай И. К.* Прикладные задачи динамики судов на волнении / И. К. Бородай, В. А. Мореншильдт, Г. В. Виленский. — Л.: Судостроение, 1982. — 288 с.
2. *Гофман А. Д.* Двигательно-рулевой комплекс и маневрирование судна / А. Д. Гофман. — Л.: Судостроение, 1988. — 360 с.
3. *Лукомский Ю. А.* Системы управления морскими подвижными объектами / Ю. А. Лукомский, В. С. Чугунов. — Л.: Судостроение, 1988. — 272 с.
4. *Пипченко А. Д.* Разработка метода адаптивного управления на основе ПИД-регулятора / А. Д. Пипченко // Мат. науч.-техн. конф. «Стан та проблеми судноводіння» / ОНМА. — Одесса, 2005. — С. 119 — 126.
5. *Пипченко А. Д.* Создание упрощенной математической модели судна, управляемого рулем и винтом / А. Д. Пипченко // Судовождение / ОНМА. — 2005. — Вып. 9. — С. 75–81.
6. *Львов В. Е.* Метод улучшения компенсационных свойств системы управления курсом судна / В. Е. Львов, А. С. Мальцев // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. — Одесса: ИздатИнформ. — 2008. — Вып. 15 — С. 99 — 103.
7. *Юрканский А. В.* Исследование управляемости судов в условиях ветра и волнения: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.01 / А. В. Юрканский. — СПб., 2005. — 118 с.
8. *Сизов В. Г.* Теория корабля / В. Г. Сизов. — Одесса: Феникс, 2003. — 284 с.
9. *Соболев Г. В.* Управляемость корабля и автоматизация судовождения / Г. В. Соболев. — Л.: Судостроение, 1976. — 478 с.
10. *Войткунский Я. И.* Справочник по теории корабля / под ред. Я. И. Войткунского. — Т. 3. Управляемость водоизмещающих судов. — Л.: Судостроение, 1985. — 544 с.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ НА РЕЛЬСОВОМ ХОДУ

THE ACTUAL ISSUES OF RELIABILITY MECHANISMS OF MOVEMENT OF GANTRY CRANES ON RAILS COURSE

В статье приводятся конструкции механизмов передвижения, применяющиеся на протяжении многих десятилетий вплоть до настоящего времени, и механизмы передвижения, используемые в составе порталных кранов на рельсовом ходу в последние годы. Рассматривается влияние конструкции ходовой части крана и закона распределения нагрузки на надежность и безопасность крана в целом. В среде Mathcad приведен алгоритм проверки правильного зацепления открытых зубчатых пар. Даются рекомендации конструктивно-компоновочного и технологического характера по повышению надежности ходовой части механизма передвижения. Установлены статистические характеристики нормального распределения эксплуатационных опорных нагрузок. На трехмассовой расчетной схеме механизма передвижения с постоянными параметрами дается оценка влияния зазоров в передачах механического привода на величину максимальных динамических нагрузок.

This article describes the design of the mechanisms of movement has application for many decades up to the present time and with them the mechanisms of movement, which found application in the composition of gantry cranes on rails course in recent years. Discusses the impact of the design of the chassis of the crane and the distribution of the load on the reliability and safety of the crane as a whole.

In Mathcad the algorithm checks the correct gear outdoor gear pairs. Recommendations design-layout and technological nature to improve the reliability of the chassis of the mechanism of movement. Installed the statistical characteristics of the normal distribution operational support loads. On trehmatchevoy settlement scheme of the mechanism of movement with constant parameters evaluates the impact of gaps in the transmission of mechanical drive on the value of the maximum dynamic loads.

Ключевые слова: конструкция, механизм передвижения, ходовая часть, тележка, ходовое колесо, зубчатая передача, изнашивание, закон распределения нагрузок.

Key words: design, the mechanism of movement, chassis, truck chassis wheel, gear, wear, the distribution of the loads.

ПЕРЕГРУЗОЧНЫЕ мосты, козловые, порталные и строительные краны перемещаются по рельсам с помощью ходовых тележек. Механизм передвижения на рельсовом ходу подобных машин является одним из основных механизмов, обеспечивающих надежность машины в целом. Отказы данных механизмов приводят к значительным экономическим потерям, связанным с ремонтом и простоями в работе крана. Сложность ремонта усугубляется значительной трудоемкостью при замене ходовых и зубчатых колес вследствие изнашивания, а также при замене поддерживающих деталей (рис. 1). Определенную долю в сложность ремонта вносит и многообразие конструктивных схем. Отмеченное иллюстрирует рис. 2, где представлены схемы механизма передвижения крана, обобщенные в результате рассмотрения около 300 моделей порталных кранов, созданных ведущими краностроительными фирмами в период до 1980 г. [1]. Наиболее часто (до 35 %) используются схемы с червячным редуктором (пунктиром изображено расположение привода в исполнении завода ПТО им. С. М. Кирова, но привод по этой схеме выступает за боковой габарит тележки) (рис. 2, а) и схемы с цилиндрическим редуктором (40 %). Во всех остальных схемах для уменьшения

бокового габарита привода или для защиты электродвигателя используется цепная передача (рис. 2, в), цилиндрические передачи (рис. 2, з), карданный вал (на рис. 2 данная схема не показана).

Многообразие конструктивных схем механизмов передвижения вызвано прежде всего необходимостью вписаться механизмом передвижения в *боковой габарит ходовой тележки*. Достаточно важную роль в многообразии конструктивных схем играет и человеческий фактор, поскольку разработчик вынужден удовлетворять определенному компоновочному требованию с учетом технических возможностей страны-производителя.



Рис. 1. Дефекты элементов механизма передвижения:

- а — отслаивание закаленного слоя поверхности катания;
- б — пластическая деформация зуба зубчатого колеса с образованием хребта;
- в — повреждение корпуса ходовой тележки

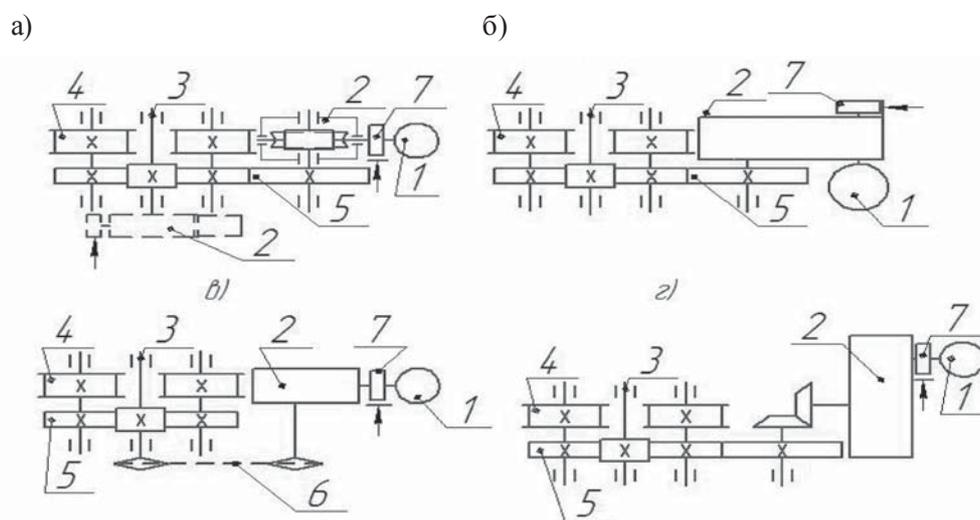


Рис. 2. Схемы механизмов передвижения портального крана:

- 1 — двигатель; 2 — редуктор; 3 — ходовая тележка; 4 — ходовое колесо тележки;
- 5 — открытая зубчатая пара; 6 — цепная передача; 7 — тормоз

Опыт, накопленный десятилетиями, привел к существенным изменениям в конструкции передаточных устройств. Тем не менее, портальные краны с механизмами передвижения, в которых ходовые колеса соединены зубчатыми парами, в силу известных обстоятельств, участвуют в перегрузочном процессе и в настоящее время.

Пути повышения надежности механизмов передвижения

Влияние количества ходовых колес на надежность и конструкцию ходовой части крана

Увеличение удельного веса пакетных и контейнерных перевозок, рост объемов транспортировки крупногабаритного технологического оборудования ведет к повышению грузоподъемности; как следствие, растет собственный вес перегрузочного крана и давление на ходовые колеса. Последнее требует применения механизма передвижения с большим числом ходовых колес.

На рис. 3 показана конструкция 16-колесной ходовой части нового монтажного крана, построенная на базе двухколесных ходовых тележек, находящихся под опорой одной ноги портала с применением балансирной системы (балки 1–3). Эффективность подобной системы была подтверждена расчетом с использованием программного комплекса ANSYS. Результаты расчета показали высокую равномерность распределения нагрузок на ходовые колеса крана (рис. 4) при назначенной жесткости балок (см. числовые значения). Ходовая часть имеет очень простую конструкцию, однако балки (балансиры) проходят над колесами одна над другой, создавая многоярусную ходовую часть. Конструкция получается высокой, что увеличивает высоту крана. Вследствие этого увеличивается плечо приложения и численное значение ветровой и динамической нагрузки на кран, что в свою очередь увеличивает нагрузку ходового колеса на рельс.

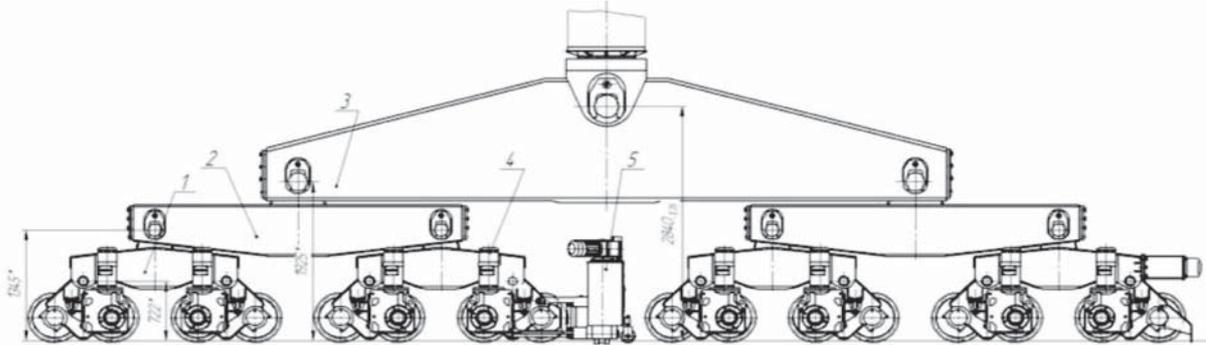


Рис. 3. Ходовая часть с системой балансиров под одной ногой портала монтажного крана на базе двухколесных тележек:

1, 2, 3 — балансиры; 4 — привод; 5 — противоугонный захват

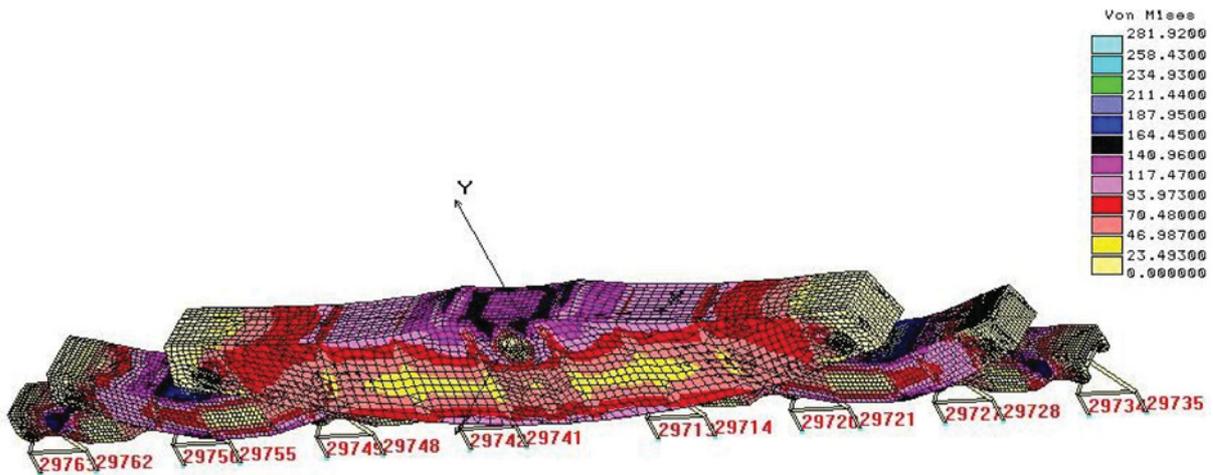


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние и распределение нагрузок между ходовыми колесами ходовой части по рис. 3

Избежать этого недостатка и получить компактную конструкцию можно, если применить не двухколесные, а многоколесные шарнирно-сочлененные ходовые тележки. Так, при шести колесах их объединяют в две трехколесные тележки, при восьми — в две четырехколесные тележки.

На рис. 5, а показана ходовая часть крана, состоящая из двух шарнирно соединенных трехколесных ходовых тележек, расположенных под одной ногой портала, а на рис. 5, б — кинематическая схема подобной приводной тележки. Данное решение снижает строительную высоту крана, плечо приложения и численное значение ветровой и динамической нагрузки на кран и, как следствие, снижает износ ходовых колес и эксплуатационные издержки.

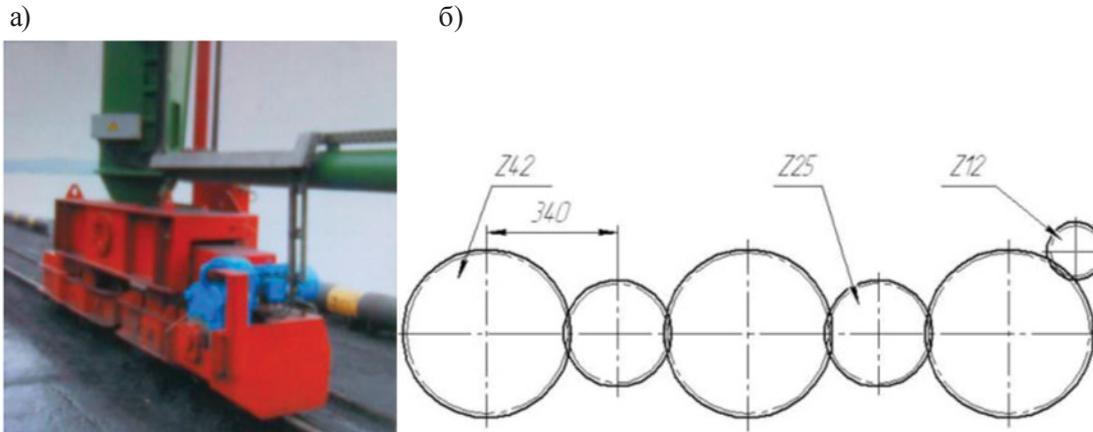


Рис. 5. Шестиколесная ходовая часть, состоящая из двух шарниросочлененных трехколесных тележек под ногой портала:
а — приводная тележка механизма передвижения;
б — кинематическая схема механизма приводной тележки

Обратим внимание проектировщиков новых машин на целесообразность использования многоколесных ходовых тележек, особенно при движении по строго горизонтальному пути. И хотя уже давно это стало ясным, тем не менее, данное положение не принималось во внимание конструкторами, что делало возможным и традиционное решение, использующее опыт завода подъемно-транспортного оборудования им. С. М. Кирова [2]. Так, пожелания конструкторов использовать в механизме передвижения монтажного крана проверенные практикой эксплуатации, унифицированные двухколесные приводные тележки выше названного предприятия привело, на наш взгляд, к созданию неудачной конструкции ходовой части крана (рис. 3).

Влияние открытых зубчатых колес на надежность ходовой части крана

Характерной особенностью всех представленных конструктивных схем приводных тележек является то, что увеличение количества приводных колес в пределах одной тележки, обеспечивается за счет связи ходовых колес через прямозубую зубчатую передачу. Перед конструкторами встает ряд задач, которые приходится решать, создавая подобный привод, и первая среди них — обеспечить нормальные условия работы зубчатых пар в тележке с целью предотвращения появления значительного износа (рис. 6).



Рис. 6. Характерный износ открытых зубчатых пар:
а — износ промежуточных шестерен portalного крана АНС-1400-У1 «Адмирал-50»;
б — износ зубчатого колеса крана «Кировец»

Для создания надежного привода ходовых колес, *соединенных зубчатыми парами*, необходимо соблюдение следующих конструктивно-технологических требований.

— *Устанавливать в одну тележку* (для предотвращения появления значительных блуждающих моментов в замкнутой через зубчатые колеса кинематической цепи передачи) *ходовые колеса*, у которых диаметры колес различаются не более чем на 0,3 мм [3]. Различие средних значений радиусов катания приводит к появлению нарастающей деформации звеньев механизма, которая в реальных условиях будет ограничиваться периодическим проскальзыванием колес при достижении «блуждающими моментами» значений, предельных по сцеплению для данных условий движения, последнее способствует повышенному износу сопряженных зубчатых колес.

— *Применять для рабочих поверхностей зубьев шестерен закалку* (ацетиленокислородным пламенем) выше твердости 450 по Бринелю с последующим отпуском при температуре 180–200 °С без снижения твердости; далее деталь подвергать испытанию на твердость и травлению поверхностей для выявления трещин.

— *Назначать точность нарезки зубьев*, особенно шестерен, не ниже седьмой степени точности, при этом по возможности совмещая производственную и эксплуатационную базы нарезки зубьев.

— *Применять полуоткрытые передачи*, отличающиеся от открытых наличием герметичного кожуха для масляной ванны; в данном случае также обеспечивается и защита от попадания грязи и посторонних частиц в зубчатую передачу.

Полуоткрытая зубчатая передача с пластичной смазкой ходовой части портального крана KONE показана на рис. 7, а. Заключением эвольвентного зацепления в картер обеспечиваются надежная смазка и защита от загрязнений. Ходовая тележка с защитным кожухом (рис. 7, б) не решает поставленной задачи.

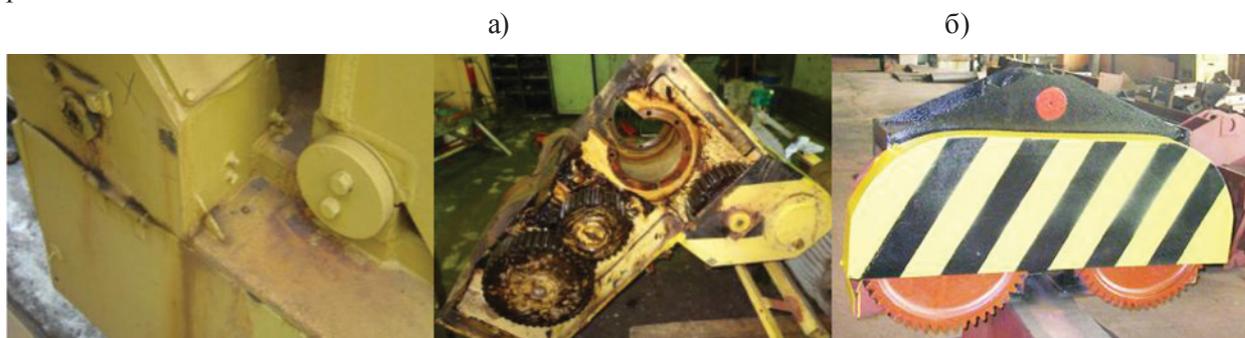


Рис. 7. Конструкции защиты зубчатых передач от загрязнений:

а — полуоткрытые зубчатые передачи с пластичной смазкой ходовой части портального крана фирмы KONE;
б — ходовая тележка с защитным кожухом стрелового крана СК-3861

Одновременно стремятся обеспечить нормальный контакт зубьев, исключая относительные перекосы осей зубчатых колес. Подобные конструктивно-технологические решения требуют высокого уровня технологии производства зубчатых колес, высокой культуры технического обслуживания и ремонта. Только в этом случае замена частей приводного механизма по истечении нормативного ресурса не будет составлять проблем.

Отечественный опыт эксплуатации подобных приводов показывает, что практическое воплощение данных решений встречает значительные трудности. Особенно это проявляется при ремонте зубчатых пар портальных кранов, механизмы передвижения которых выполнены в соответствии с отмеченными выше свойствами. Дело в том, что в условиях нынешнего состояния производства не удастся получить первоначальные параметры зубчатых колес, заложенные производителем. На этом основании долговечность открытых пар после произведенного ремонта несопоставима со сроком жизненного цикла машины, что ведет к большим затратам при ее эксплуатации [4].

Применение моноmotorных тележек для повышения надежности и долговечности

При новом проектировании [5] использование эвольвентного зацепления для соединения ходовых колес тележки способно обеспечить срок службы, сопоставимый со сроком жизненного цикла машины лишь в том случае, когда обеспечиваются все конструктивные, технологические, точностные и прочностные показатели качества, отмеченные выше.

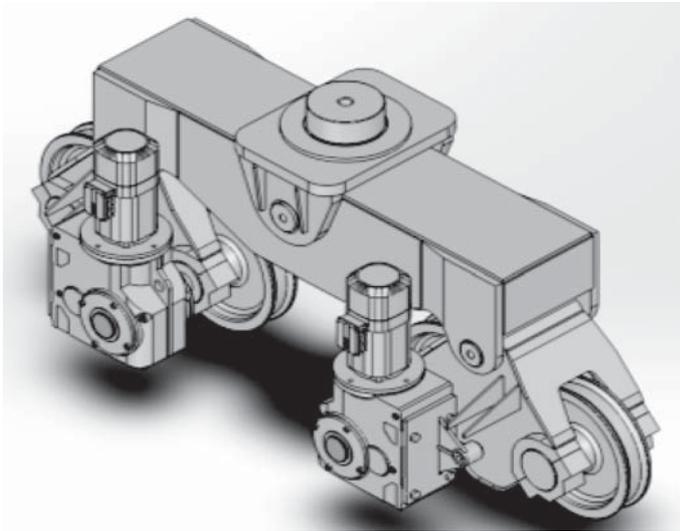


Рис. 8. Конструкция модуля балансирующей системы для равномерного распределения нагрузки на колеса четырехколесной тележки

Это чрезвычайно важно в отношении класса перегрузочных машин с высокими скоростями. Накопленные ошибки в шаге шестерни и колеса в совокупности с воздействием колеса на путь в скоростных механизмах вызывают повышенные вибрации в машине, увеличивают громкость шума. Подобная ситуация имела место при создании козлового контейнерного перегружателя на скорости передвижения крана 120 м/мин. Данный фактор плюс многолетний опыт явился решающим для конструирования механизмов передвижения с моноmotorными тележками. В этом случае, во-первых, механизмы передвижения кранов могут быть скомбинированы модульно — на балансирах как двухколесных (рис. 8), так и многоколесных тележек передвижения; во-вторых, при их изготовлении появляется возможность

использовать только оправданные передаточные устройства, хорошо зарекомендовавшие себя в эксплуатации. Оснащая приводы механизмов передвижения компактными навесными мотор-редукторами, конструкцию ходовой части получают более пригодной к ремонту, добиваясь экономии затрат [6].

Правильность установки ходовых колес крана и ее влияние на долговечность конструкции

Проверка правильности положения ходовых колес обязательна и может производиться как с помощью оптического метода, так и с помощью струны. При неправильной установке неизбежен перекос крана при движении, приводящий к преждевременному износу реборд, поломке вала ходового колеса и другим тяжелым последствиям. На рис. 9 показаны повреждения деталей крана вследствие недостаточно тщательной проверки установки ходовых колес.



Рис. 9. Повреждения ходовой части крана вследствие неправильной установки колес: а — поломка вала из-за сваривания реборды с крановым рельсом; б — износ реборды

Особенности геометрии эвольвентных цилиндрических прямозубых пар

В производственных условиях приходится ремонтировать самое разнообразное оборудование: машины отечественного и зарубежного производств в очень широком разнообразии типов, выпущенные недавно (рис. 3) и давно (рис. 2); машины малоизношенные и имеющие большой износ зубчатых колес (рис. 6) и т.д. Чаще всего чертежи ремонтируемой машины отсутствуют. Их приходится воспроизводить, встречаясь при этом с расшифровкой параметров открытых пар [7]. Мы предлагаем решение, предотвращающее неполадки в зацеплении, и тем самым способствующее долговечности.

При известных числах зубьев зубчатых колес и межосевом расстоянии, для того чтобы предотвратить неполадки в зацеплении, следует определить только коэффициент смещения. Пример алгоритма проверки правильности определения коэффициента смещения зубчатой пары ходовой части по рис. 5 выполнен в среде Mathcad (форма 1). После определения коэффициента смещения рекомендуется проверить геометрические показатели качества: условие отсутствия подрезания зубьев, условие обеспечения нормированной толщины зуба на поверхности вершин, устранение неблагоприятных значений коэффициента торцового перекрытия. Условие отсутствия интерференции с переходными кривыми обычно не требует проверки.

Форма 1

Расчет геометрии прямозубого зацепления

Рассматривается случай, когда зубчатые колеса обрабатываются методом обкатки

1. Исходные данные

| | |
|---|------------|
| Модуль зуба, мм | $m:=10$ |
| Число зубьев шестерни | $z_1:=25$ |
| Число зубьев колеса | $z_2:=42$ |
| Межосевое расстояние, мм | $a_w:=340$ |
| Коэффициент высоты делительной головки зуба исходного контура | $h_a:=1$ |

| | |
|------------------------|--------------------------------------|
| Угол исходного контура | $\alpha := 20 \cdot \frac{\pi}{180}$ |
|------------------------|--------------------------------------|

2. Расчет коэффициентов смещения

Угол зацепления

$$\alpha_{tw} := \arccos \left[\frac{m \cdot (z_1 + z_2) \cdot \cos(\alpha)}{2 \cdot a_w} \right], \quad \alpha_{tw} \cdot \frac{180}{\pi} = 22.2$$

Коэффициент суммы смещений

$$x_{\Sigma} := \left(\tan(\alpha_{tw}) - \alpha_{tw} - \tan(\alpha) + \alpha \right) \cdot \frac{(z_1 + z_2)}{2 \cdot \tan(\alpha)}, \quad x_{\Sigma} = 0.527$$

| | |
|--|---------------------|
| Коэффициент смещения у шестерни по опыту конструирования | $x_1 := x_{\Sigma}$ |
|--|---------------------|

| | |
|-------------------------------|------------|
| Коэффициент смещения у колеса | $x_2 := 0$ |
|-------------------------------|------------|

Коэффициент укорочения зубьев (ниже его значения указаны для случая, когда зубья имеют полную высоту, т.е. не укорочены):

| | |
|--------------------|-----------------|
| шестерни: $k_1:=0$ | колеса $k_2:=0$ |
|--------------------|-----------------|

Диаметр вершин зубьев, мм

| | | |
|-----------|---|--------------------|
| шестерни: | $d_{a1} := m \cdot z_1 + 2 \cdot (h_a + x_1 + k_1) \cdot m$ | $d_{a1} = 280.536$ |
|-----------|---|--------------------|

| | | |
|--------|---|----------------|
| колеса | $d_{a2} := m \cdot z_2 + 2 \cdot (h_a + x_2 + k_2) \cdot m$ | $d_{a2} = 440$ |
|--------|---|----------------|

3. Проверки правильности зацепления

Угол профиля зуба на окружности вершин шестерни

$$\alpha_{a1} := \arccos\left(m \cdot z_1 \cdot \frac{\cos(\alpha)}{d_{a1}}\right) \quad \alpha_{a2} := \arccos\left(m \cdot z_2 \cdot \frac{\cos(\alpha)}{d_{a2}}\right)$$

Проверка толщины зуба на окружности вершин шестерни: $S_{a1} > 0.4m = 4$ мм

$$s_{a1} := d_{a1} \cdot \left[\frac{0.5 \cdot \pi + 2 \cdot x_1 \cdot \tan(\alpha)}{z_1} + \tan(\alpha) - \alpha - (\tan(\alpha_{a1}) - \alpha_{a1}) \right] \quad \frac{s_{a1}}{m} = 5.231 = 0.523$$

что соответствует требуемому нормативному значению 0,4 для поверхностной закалки

Проверка коэффициента торцового перекрытия

$$\varepsilon_{\alpha} := \frac{z_1 \cdot \tan(\alpha_{a1}) + z_2 \cdot \tan(\alpha_{a2}) - (z_1 + z_2) \cdot \tan(\alpha_{tw})}{2 \cdot \pi} \quad \begin{aligned} \varepsilon_{\alpha} &\geq 1,2 \\ \varepsilon_{\alpha} &= 1.54 \end{aligned}$$

Приложение

Коэффициент смещения, реализующий заострение зуба на диаметре вершин

Обозначения для упрощения исследуемого выражения

$$c := \cos(\alpha) \quad t := \tan(\alpha) \quad b := t - \alpha \quad a := 0.5 \cdot \pi$$

Задаем:

$$k := 0 \quad z := 10$$

Функция

$$Fo(x) := \frac{z \cdot c}{z + 2 \cdot (1 + x + k)}$$

Начальное значение переменной

$$X := 0$$

Решаемое уравнение

$$\frac{a + 2 \cdot x \cdot t}{z} + b + \arccos(Fo(x)) - \tan(\arccos(Fo(x))) = 0$$

$$\text{Find}(x) = 0.7$$

Коэффициент смещения, реализующий заострение зуба на диаметре вершин, при $z=10$, равен 0,7 (см. также кривую 1 на рис.10)

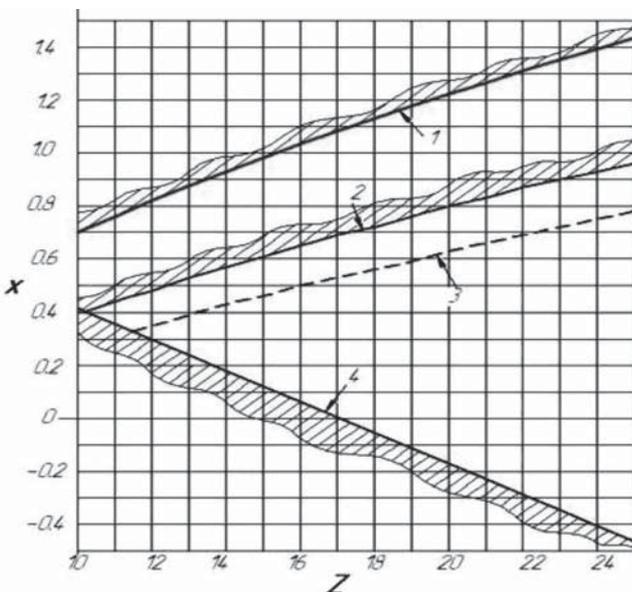


График на рис. 10 позволяет быстро проверить найденное значение коэффициента смещения у шестерни и при этом делает излишней проверку геометрических показателей качества.

Рис. 10. График изменения коэффициента смещения для данного числа зубьев:

- 1 — коэффициент смещения, при котором толщина зуба на диаметре вершин равна нулю;
- 2, 3 — коэффициент смещения, при котором толщина зуба на диаметре вершин равна 0,3 m (0,4 m) соответственно;
- 4 — коэффициент смещения, исключаяющий подрезание зуба

Максимальные нагрузки для оценки надежности при ремонте и проектировании

Для оценки прочностной надежности валов и зубчатых колес механизма передвижения необходимо правильно рассчитать максимальные динамические нагрузки, которые могут возникать при работе в периоды неустановившегося движения. У порталных кранов, имеющих длительный срок эксплуатации, в механизме в результате изнашивания появляются зазоры в передачах. Результаты замеров, проведенных при обследовании порталных кранов, работающих в тяжелых условиях эксплуатации (Череповецкий промышленный порт), показали, что этот зазор может соответствовать одному обороту быстроходного вала червячного редуктора.

Для оценки влияния зазоров был проведен сравнительный анализ нагрузок на привод двигателя с фазным ротором [8]. Режим нагружения изучался с помощью трехмассовой расчетной схемы с постоянными параметрами (рис. 11). Модель позволила провести анализ динамических нагрузок при различной величине зазоров в приводах, установленных на левой и правой частях портала. Наклон пусковых характеристик и время выдержки на них выбраны в соответствии со схемой пусковой панели для электропривода механизма передвижения завода «Динамо».

Сопrotивления передвижению от сил трения определялись по общеизвестной формуле и составили 30 кН [2]. Наибольшие нагрузки в механизме передвижения возникали, когда упругая связь во время пуска не нагружена (имеется зазор в зацеплении передач). Чтобы не происходило выборки зазоров и нагружения упругой связи, ветровая нагрузка не превышала сопротивлений передвижению от сил трения. Общее сопротивление передвижению от сил трения и ветровой нагрузки составляло 60 кН.

При построении математической модели механизма передвижения в качестве сосредоточенных параметров приняты приведенные к ободу ходового колеса массы роторов электродвигателей правой и левой стороны портала m_d , соединенные двумя упругими связями с массой крана m_k (рис. 11).

Динамические нагрузки рассчитывались при установке в механизме двигателя МТФ311-6 мощностью 13 кВт при частоте вращения 935 об/мин. Тяговая сила двигателя линейно зависит от скорости.

На первом этапе во время выборки зазоров и достижения нагрузки в упругом звене, равной сопротивлению передвижения, движение системы описывается уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{F} &= \frac{C_{pr}}{m_d} P_d \\ \ddot{F} &= -\alpha \dot{F} - \frac{C_{pr}}{m_d} F + \frac{C_{pr}}{m_d} P_d \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где F — нагрузка механизма передвижения на первом этапе движения; P_d — усилие, развиваемое двигателем; C_{pr} — приведенная жесткость портала в продольном направлении, α — коэффициент затухания колебаний.

На втором этапе, когда начинается совместное движение масс двигателя и крана, уравнения движения системы записываются в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{F}_1 &= -\alpha \dot{F}_1 - C_{pr} \left(\frac{1}{m_{d_1}} + \frac{1}{m_k} \right) F_1 - \frac{C_{pr}}{m_k} F_2 + \frac{C_{pr}}{m_{d_1}} P_{d_1} + \frac{C_{pr}}{m_k} P_c \\ \ddot{F}_2 &= \alpha \dot{F}_2 - C_{pr} \left(\frac{1}{m_{d_1}} + \frac{1}{m_k} \right) F_2 - \frac{C_{pr}}{m_k} F_1 + \frac{C_{pr}}{m_{d_2}} P_{d_2} + \frac{C_{pr}}{m_k} P_c \\ P_{d_1} &= \left(P_{p1} - \frac{v_{d_1}}{v_0} P_{p1} \right) \lambda_i \quad \lambda_i = 1, 2, 4, 8, \\ P_{d_2} &= \left(P_{p1} - \frac{v_{d_2}}{v_0} P_{p1} \right) \lambda_i \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\dot{v}_{d_1} = \frac{1}{m_{d_1}} P_{d_1} - \frac{1}{m_{d_1}} F_1;$$

$$\dot{v}_{d_2} = \frac{1}{m_{d_2}} P_{d_2} - \frac{1}{m_{d_2}} F_2;$$

где F_1, F_2 — нагрузки в упругих связях механизма передвижения на втором этапе движения; P_{p1} — начальное пусковое усилие на первой механической характеристике при разгоне механизма; v_{d_1}, v_{d_2} — скорости двигателей; v_0 — скорость холостого хода двигателя; λ_i — кратность пускового момента двигателя; P_c — сопротивление передвижению крана.

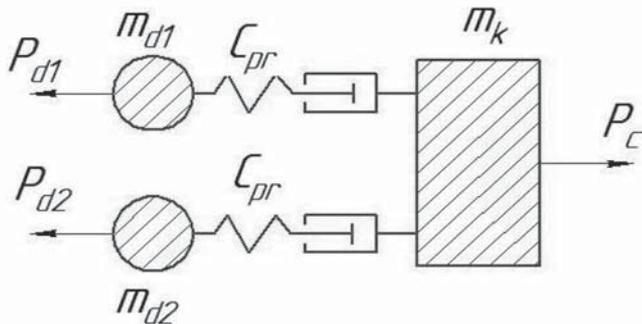


Рис. 11. Расчетная схема механизма передвижения

Моделирование нагрузок проводилось при выбранном полностью зазоре и зазорах, составляющих 0,5 и 1,0 оборота быстроходного вала червячного редуктора. На рис. 12 показаны осциллограммы нагрузок и скоростей, полученные в результате моделирования.

Проведенные исследования показали, что с увеличением зазоров динамические нагрузки в механизме возрастают (см. также [9]). Результаты исследований приведены в табл. 1. При этом коэффициент динамичности $\psi = 1,6$, рекомендованный в [2] как среднепусковой, повышается до значения $\psi = 2,6$ при зазоре в один оборот быстроходного вала.

Это обстоятельство следует учитывать при оценке надежности по максимальным нагрузкам.

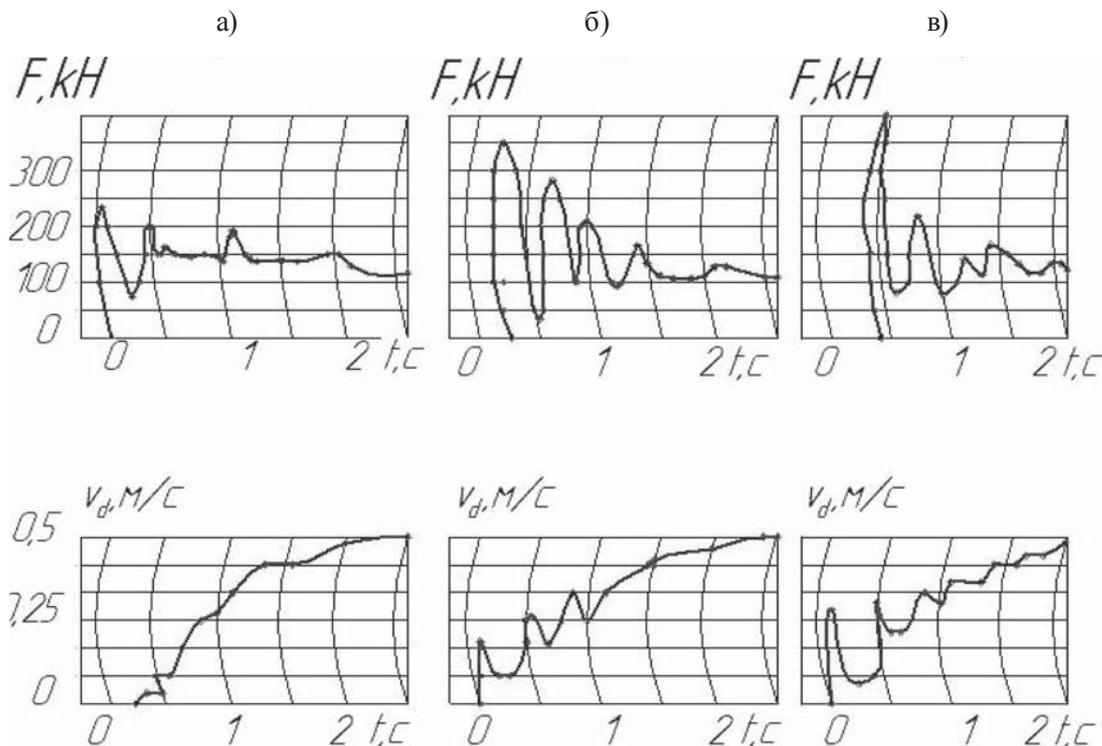


Рис. 12. Осциллограммы нагрузок и скоростей механизма передвижения при пуске двигателя с фазным ротором:
а — без зазора; б — с зазором π ; в — с зазором 2π быстроходного вала

Таблица 1

**Пусковые нагрузки и ускорения механизма передвижения
при установке двигателя с фазным ротором**

| Зазор на быстроходном валу, рад | Время выдержки по ступеням, с | Ускорения по ступеням разгона, м/с ² | Максимальная продольная нагрузка на опору портала, кН | Коэффициент динамичности $\Psi = \frac{F_{\max}}{F_{\text{ср}}}$ $F_{\text{ср}} = 150 \text{ кН}$ |
|---------------------------------|-------------------------------|---|---|---|
| 0 | 0,4 | 0,25 | 240 | 1,6 |
| | 0,8 | 0,32 | | |
| | 0,8 | 0,21 | | |
| π | 0,4 | 0,45 | 350 | 2,3 |
| | 0,8 | 0,27 | | |
| | 0,8 | 0,14 | | |
| 2π | 0,4 | 0,54 | 390 | 2,6 |
| | 0,8 | 0,20 | | |
| | 0,8 | 0,13 | | |

Для оценки долговечности деталей механизма передвижения необходимы статистические характеристики нагрузок, действующих на опоры портала крана. Опорные нагрузки являются выходными процессами сложной системы, на вход которой подаются случайные воздействия. К основным факторам, которые влияют на величину опорных нагрузок, относятся нагрузки:

- от собственного веса крана;
- в грузовых канатах;
- от неровностей пути;
- инерционные;
- от раскачивания груза на канатах;
- ветровые.

Все эти факторы оказывают на опорные нагрузки воздействия, близкие к статистическим. Для изучения весомости указанных факторов кафедрой подъемно-транспортных машин института водного транспорта были проведены натурные исследования порталных кранов с программными и эксплуатационными испытаниями. В ходе программных испытаний измерялись нагрузки в опорах, соответствующие определенным видам нагружения. Наибольшие изменения нагрузок, полученных при испытании, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты программных испытаний порталного крана КПИ–10/30

| Вид нагружения | Вертикальное давление, % | Поперечная сила, кН |
|---|--------------------------|---------------------|
| Отклонение канатов в плоскости стрелы | 4,05 | 60 |
| Отклонение канатов из плоскости стрелы | 6,7 | 38 |
| Торможение механизма поворота толчками | 4,7 | 62 |
| Центробежные силы | 2,6 | 5 |
| Ветровая нагрузка | 1,3 | 5 |
| Перемещение равнодействующей веса крана | 43 | 21 |
| Неточности пути и портала | 35 | 18 |
| Изменение вылета толчками | 2,7 | 8 |
| Подъем грейфера после черпания | 21,6 | 21 |

В приведенной таблице вертикальные нагрузки даны в процентах от максимальной нагрузки на опору рабочего состояния, определенной по данным работы [2]. Принималась расчетная комбинация 2в: кран неподвижен; производится «подхват» номинального груза на максимальном вылете. В этом случае величина максимальной нагрузки на опору

$$R_{\max} = 0,25(\psi G_{\Gamma} + G_{\text{ПЧ}} + G_{\text{вс}}) + 0,5 \frac{M_{\text{в}}}{c}. \quad (3)$$

Здесь G_{Γ} — номинальный вес груза; $G_{\text{ПЧ}}$ — вес поворотной части крана; $G_{\text{вс}}$ — вес верхнего строения портала; $M_{\text{в}}$ — момент от нагрузок, действующих в вертикальной плоскости:

$$M_{\text{в}} = 0,5(\psi G_{\Gamma} L_{\max} - G_{\text{ПЧ}} x_0), \quad (4)$$

где L_{\max} — максимальный вылет крана; x_0 — расстояние от центра тяжести поворотной части до оси вращения крана; c — плечо пары сил при опирании поворотной части на круговой рельс.

Результаты анализа показывают, что наибольшее влияние на величину опорных нагрузок оказывают нагрузки от подъема груза, неточности пути и портала, а также перемещение равнодействующей веса крана при работе механизмов поворота и вылета.

При проведении эксплуатационных испытаний проводилась непрерывная запись опорных нагрузок на кранах, работающих в естественных условиях по вариантам судно – склад и судно – вагон. В результате обработки осциллограмм по времени и множеству были получены статистические характеристики опорных нагрузок — математическое ожидание m_R и среднеквадратичное отклонение σ_R . Результаты испытаний нагрузок приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытаний опорных нагрузок крана КПП-10/32

| Вид нагрузки на опору | Вариант работы | m_R | σ_R |
|-----------------------|----------------|-------|------------|
| Вертикальное давление | Судно-склад | 46,3 | 4,3 |
| Поперечная сила | Судно-склад | 0,7 | 0,85 |
| Вертикальное давление | Смешанный | 40,1 | 6,1 |
| Поперечная сила | Смешанный | 0,9 | 0,77 |

Для определения теоретических распределений плотностей вероятностей были построены гистограммы вертикальных и горизонтальных сил. Было установлено, что распределение эксплуатационной нагрузки достаточно точно описывается нормальным законом распределения с математическим ожиданием m_R и среднеквадратичным отклонением σ_R (см. табл. 3). В этом случае дальнейшие расчеты надежности и долговечности элементов механизма передвижения можно проводить согласно методике в работе [10].

Список литературы

1. Плавник Б. И. Современные конструкции порталных кранов за рубежом / Б. И. Плавник, И. С. Мазовер. // Подъемно-транспортное оборудование (ЦНИИТЭИтяжмаш). — 1979. — № 40.
2. Ланг А. Г. Портальные краны / А. Г. Ланг, И. С. Мазовер, В. С. Майзель. — 2-е изд. — М.-Л.: Машгиз, 1962. — 284 с.
3. Бирюков И. В. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог / И. В. Бирюков, А. И. Беляев, Е. К. Рыбников. — М.: Транспорт, 1986. — 256 с.
4. Ремонт портовой перегрузочной техники: справочник / под ред. Ю. И. Гладунко. — М.: Транспорт, 1988. — 343 с.

5. Андрианов Е. Н. Особенности проектирования приводов грузоподъемных машин / Е. Н. Андрианов, А. Н. Иванов, С. Н. Федотов // Вестник ИНЖЭКОНА. Сер.: Технические науки. — 2007. — Вып. № 6 (19). — С. 102–112.
6. Андрианов Е. Н. Резервы грузоподъемных машин / Е. Н. Андрианов, А. Н. Иванов, С. Н. Федотов. // Тр. Междунар. науч.-техн. конф. — 2006.
7. Курлов Б. А. Расшифровка цилиндрических и конических зубчатых передач / Б. А. Курлов. — М.: Машиностроение, 1972. — 136 с.
8. Андрианов Е. Н. Определение на АВМ нагрузок механизма передвижения порталного крана КПП 16-32 / Е. Н. Андрианов // Тр. ЛИВТа. — 1982. — Вып. 174. — С. 83–89.
9. Вейц В. Л., Кочура А. Е., Царев Г. В. Расчет механических систем приводов с зазорами / В. Л. Вейц, А. Е. Кочура, Г. В. Царев. — М.: Машиностроение, 1979. — 183 с.
10. Андрианов Е. Н. Определение эквивалентных нагрузок и надежности элементов порталных кранов / Е. Н. Андрианов, В. И. Брауде // Тр. ЛИВТа. — 1984. — С. 30–34.

УДК 502.1/2:656

А. Е. Пластинин,
канд. техн. наук, доц.

ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ ВЗРЫВАХ НА ТАНКЕРАХ

ASSESSMENT OF MECHANICAL IMPACT ON ENVIRONMENT AT EXPLOSIONS ON TANKERS

Приведены результаты статистических исследований параметров механического воздействия на окружающую среду при взрывах на танкерах как географически ориентированных случайных величин. Разработана матрица выбора типа взрывного процесса на танкерах. Для визуализации матрицы построены регрессионные модели, отражающие зависимость между избыточным давлением, грузоподъемностью судна и дистанцией до объекта поражения.

Предложена классификация нефтепричалов Волжского бассейна по степени опасности для окружающей среды (механическое воздействие). Получено уравнение связи дистанции до объекта поражения и грузоподъемности танкера для оценки границы перехода консервативного типа взрывного процесса от детонации к дефлаграции.

Результаты исследований могут быть полезны при создании документов, разрабатываемых в рамках Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (планов локализации и ликвидации разливов нефти, деклараций промышленной безопасности), при эксплуатации и проектировании объектов транспортного комплекса, а также при проведении тренажерной подготовки персонала.

The results of statistical researches of parameters of mechanical impact on environment at explosions in tankers as geographically focused random variables are presented. The choice matrix like explosive process on tankers is developed. For visualization of a matrix the regression models reflecting dependence between excessive pressure, loading capacity of the vessel and a distance to object of defeat are constructed. Classification of oil moorings of the Volga basin by degree of danger to environment by mechanical influence is offered. The equation of communication of a distance to object of defeat and loading capacity of the tanker for an assessment of border of transition of conservative type of explosive process from a detonation to a deflagration is received. The results of the researches can be useful at creation of the documents developed within the framework of the Uniform state system of the prevention and liquidation of emergencies (plans of localization and liquidation of oil spillages, declarations of industrial safety) during exploitation and designing of objects of the transport complex, and also during personnel training.

Ключевые слова: механическое воздействие, окружающая среда, взрывной процесс, матрица, нефтепричалы, классификация.

Key words: mechanical impact, environment, explosive process, matrix, oil moorings, classification.

О ГРОМНУЮ опасность для окружающей среды (ОС) представляют последствия чрезвычайных ситуаций, связанных с аварийными разливами нефти (РН) и нефтепродуктов (ЧС(Н)), сопровождающиеся пожарами и взрывами, которые по данным Федеральной службы по надзору в сфере транспорта составляют до 10 % от общего числа аварий на водном транспорте в отдельные периоды наблюдения, из них более 50 % — взрывы на танкерах [1].

В соответствии с действующим законодательством Российской Федерации в сфере предупреждения и ликвидации разливов нефти оценка механического воздействия на ОС при взрывах выполняется в составе документов, разрабатываемых организациями водного транспорта в рамках Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (планов ликвидации аварийных ситуаций, планов локализации и ликвидации РН, деклараций промышленной безопасности, паспортов безопасности).

Следует отметить, что оценка механического воздействия взрывов на танкерах является обязательным элементом проектной документации для объектов атомной энергетики при учете внешних техногенных воздействий [2]. Она связана со значительными, в том числе объективными, трудностями методического характера:

- отсутствие матриц выбора типа взрывного процесса для судов;
- значительное количество проектов танкеров, обеспечивающих перевозки нефтепродуктов;
- большое разнообразие ситуаций, при которых возникает взрыв нефтепродуктов;
- обширная география местоположения возможных источников ЧС(Н);
- разнообразие типов водных путей (поверхностных водотоков) и гидрометеорологических условий;
- множество сценариев ЧС(Н) и т.п. [3, с. 152–157]; [4, с. 168–174].

Таким образом, существует необходимость оценки параметров механического воздействия на ОС при взрывах на танкерах как географически ориентированных случайных величин и разработки соответствующего методического обеспечения.

Наибольшая вероятность взрывов на судах наблюдается при проведении грузовых операций на нефтяных причалах, и примером подобной угрозы являются ЧС на Сормовской и Кстовской нефтебазе (1977, 1993), на танкере «Виктория» (2003) [1]. Поэтому в данной работе выполнена оценка опасности этих техногенных событий на примере Волжского бассейна, здесь перевозится наибольшее количество нефтеналивных грузов в России.

Чтобы оценить последствия взрывов, были выполнены следующие исследования:

- сбор и обработка статистических данных по характеристикам нефтяных причалов (НП) Волжского бассейна — дислокация НП, расстояние до объекта поражения (поселения), оценка массы взрывааемых нефтепродуктов;
- выбор типа взрывного процесса;
- оценка последствий взрыва нефтепродуктов по степени разрушения;
- разработка классификации НП Волжского бассейна по степени опасности для ОС на базе действующих методик расчета параметров взрыва.

Характеристики НП были получены с использованием электронной картографической системы программно-аппаратного комплекса «Система моделирования и анализа аварий, связанных с загрязнением окружающей среды "PISCES II"» производства компании ТРАНЗАС, установленного на базе учебно-тренажерного центра по управлению кризисными ситуациями природного и техногенного характера Волжской государственной академии водного транспорта [5, с. 65–70], [6, с. 92–97], [7, с. 130–135], [8].

В качестве примера на рис. 1 представлен процесс измерения расстояния от одного из НП Волжского бассейна (814,4 км) до ближайшего населенного пункта.

В результате была построена база данных (БД) по характеристикам нефтяных причалов Волжского бассейна: дислокация, берег (левый, правый), расстояние до объекта поражения (на берегу левом, правом, противоположном, месторасположения НП, минимальное из рассмотрен-

ных), тип и масса нефтепродуктов (грузоподъемность судна) и т.д. Фрагмент базы представлен в табл. 1.

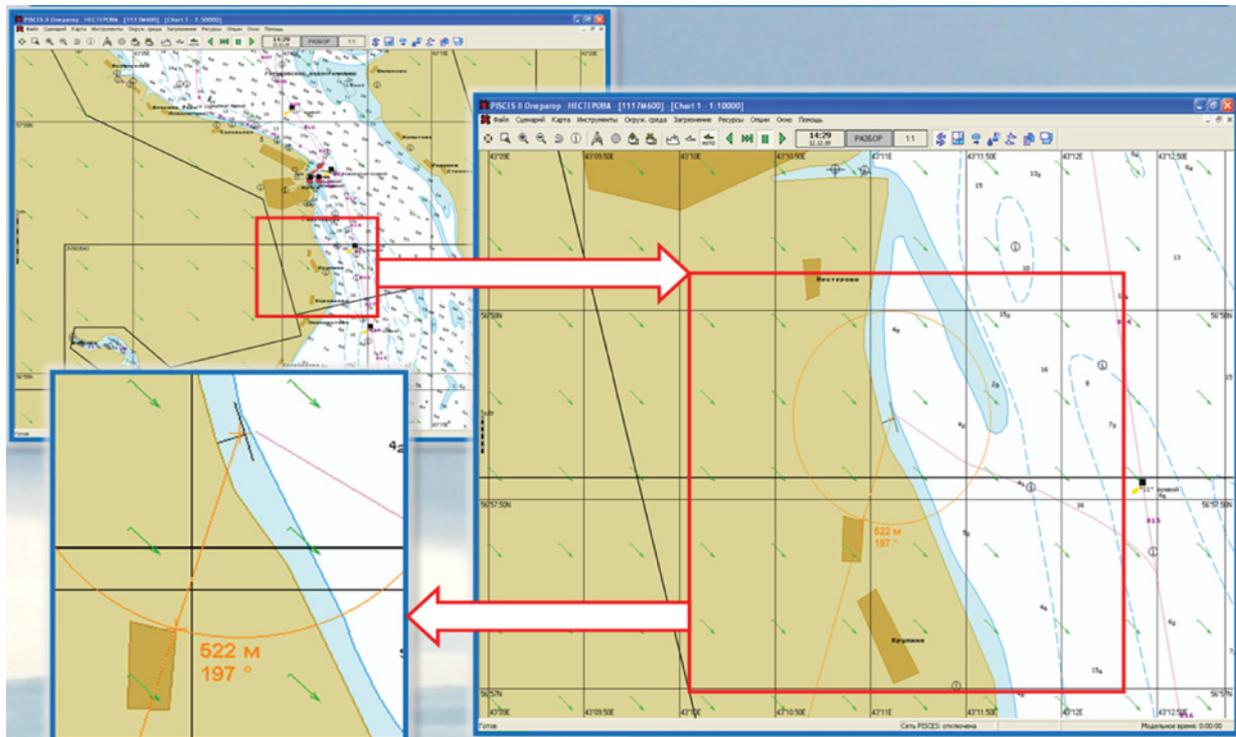


Рис. 1. Сбор статистических данных по характеристикам НП Волжского бассейна (дистанция до объекта поражения)

Таблица 1

Фрагмент базы данных по характеристикам НП Волжского бассейна

| № | Дислокация НП, км р. Волги | Берег дислокации (левый, правый) | Наименование населенного пункта | Расстояние до объекта поражения, R, м | | | Пеленг, град. | Тип нефтепродукта |
|---|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------|------|---------------|-------------------|
| | | | | л. б. | п. б. | мин. | | |
| 1 | 526,60 | ПБ | Ярославль | 84,7 | 1400 | 84,7 | 245 | Мазут |
| 2 | 814,40 | ПБ | Пучеж | 522 | 4600 | 522 | 197 | Мазут |
| 3 | 935,80 | ПБ | Кстово | 190 | 5900 | 190 | 189 | Мазут |
| 4 | 1282,00 | ЛБ | Казань | 5000 | 762 | 762 | 257 | Сырая нефть |
| 5 | 1381,00 | ПБ | Камское Устье | 122 | 9500 | 122 | 235 | Сырая нефть |

Статистический анализ характеристик НП проводился при помощи программы «Statistika 8.0». Нормальное распределение признаков проверялось с использованием критериев Колмогорова–Смирнова, Шапиро–Уиллиса.

Для оценки интенсивности вариации и для сравнения ее в разных совокупностях были получены относительные показатели вариации. Они вычислялись как отношения абсолютных показателей силы вариации к средней арифметической величине признака.

Результаты статистического анализа представлены в виде $M \pm SD$, $Me[25p; 75p]$, где M — среднее, SD — одно стандартное отклонение, Me — медиана, $25p$ и $75p$ — 25-й и 75-й процентиля соответственно, ρ и ν — коэффициенты осцилляции и вариации (табл. 2 и 3).

Таблица 2

Статистический анализ расстояний до объекта поражения (населенного пункта) для НП Волжского бассейна

| Характеристика вариационного ряда | Расстояние до объекта поражения, м | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------|-----------------|
| | мин. | на берегу месторасположения НП | на противоположном берегу | на правом берегу | на левом берегу |
| Количество наблюдений | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 |
| Мин/Макс значение | 75,0/3400,0 | 75,0/3400,0 | 608,0/12300,0 | 84,7/11500,0 | 75,0/12300,0 |
| Размах вариации | 3325,0 | 3325,0 | 11692,0 | 11415,30 | 12225,0 |
| $M \pm SD$ или $Me[25p; 75p]$ | 674,77±782,45 | 686,78±785,83 | 4851,55±3729,02 | 1931,37±2666,32 | 3607,83±3847,66 |
| Коэффициент осцилляции/ вариации | 4,93/1,16 | 4,84/1,14 | 2,41/0,76 | 5,91/1,38 | 3,39/1,06 |
| Степень интенсивности вариации | >25% высокая | >25% высокая | >25% высокая | >25% высокая | >25% высокая |

Анализ полученных коэффициентов осцилляции и вариации расстояний до объекта поражения позволил сделать вывод о сильной степени интенсивности вариации для всех типов участков (см. табл. 2), которая возникает при неоднородности исследуемой совокупности и обуславливает необходимость группировки первичных статистических данных.

Количество групп и диапазоны исследуемых признаков определялись в соответствии с формулой Стерджесса. Отнесение отдельных значений к выделенным группам проверялась проверкой статистической гипотезы о принадлежности выделяющихся значений с применением критерия Ирвина. Малочисленные группы ($n < 5$) были объединены в соответствии с рекомендациями Йейтса [9]. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Статистический анализ минимальных расстояний до объекта поражения (населенного пункта) для НП Волжского бассейна

| Характеристика вариационного ряда | Расстояние до объекта поражения, м | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------|-------------------------|
| | | | |
| Количество наблюдений | 37 | 15 | 6 |
| Диапазон изменения | 75...550 | 550...1975 | 1975...3400 |
| Мин/Макс значение | 75 /522 | 576/1300 | 2100/3400 |
| Размах вариации | 447 | 724 | 1300 |
| $M \pm SD$ или $Me[25p; 75p]$ | 274,67±148,94 | 850,0[608, 0;950, 0] | 2750,0[2300, 0;3200, 0] |
| Коэффициент осцилляции/ вариации | 1,63/0,54 | -/- | -/- |
| Степень интенсивности вариации | >25% высокая | -/- | -/- |

На основании табл. 3 можно предложить следующий порядок ранжирования НП в пределах Волжского бассейна по уровню риска механического воздействия ЧС(Н) на ОС (антропогенные объекты):

1. НП первого класса опасности (чрезвычайно опасные) + УА, для которых расстояние до объекта поражения находится в диапазоне от 75 до 550 м. К таким НП относятся 528,40 км, 899,10 км, 1841,60 км, 2178,00 км, 3055,88 км и др. (всего 37).

2. НП второго класса опасности (умеренно опасные) + УА, для которых дистанция до объекта поражения находится в диапазоне от 550 до 1975 м. Такими НП являются 1173,8 км, 2477,00 км, 3057,10 км, 3059,0 км и др. (всего 15).

3. НП третьего класса опасности (малоопасные) + НП, для которых расстояние до объекта поражения находится в диапазоне от 1975 до 3400 м. Это такие НП, как 2586,40 км, 2585,20 км, 2585,40 км, 2585,60 км, 2585,80 км, 2586,10 км (всего 6).

Математическое ожидание (выборочная средняя) для расстояния до объекта поражения в Волжском бассейне равно 674,77 м, таким образом, усредненный НП может быть отнесен к группе «умеренно опасные НП» по предложенной классификации. При этом доля НП 1-го класса опасности по уровню риска механического воздействия ЧС(Н) на ОС составила 63,79 % от общего количества НП.

На основании табл. 2 и 3 также можно сделать вывод о существовании потенциальной опасности для всех выделенных категорий объектов поражения: на левом берегу, на правом берегу, на берегу месторасположения НП, на противоположном берегу.

Анализ опасности аварийных взрывов нефтепродуктов на судах и определение параметров, характеризующих их механическое воздействие, выполняется на основании требований федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии» [2] и «Руководства по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического воздействия. РБ Г-05-039-96» [10]. В соответствии с этими нормативными документами при расчетах учитываются два сценария ЧС(Н): «Взрыв нефтепродуктов в грузовых танках наливного судна с учетом основного запаса топлива и смазки» и «Взрыв топливной цистерны неналивного судна с учетом запаса смазки». При оценке факторов, связанных с указанными сценариями, рассматриваются объемный детонационный и объемный дефлаграционный взрывы топливно-воздушной смеси (ТВС) в резервуаре [10].

Поскольку тип взрывного процесса в облаке ТВС заранее неизвестен, то для получения консервативных (завышенных) оценок в каждом конкретном случае оцениваются параметры воздушной ударной волны (ВУВ) в зависимости от расстояния между источником взрыва и конструктивными элементами сооружений как при детонационном, так и при дефлаграционном взрывах. В качестве консервативного принимается вариант, соответствующий максимальным значениям указанных параметров.

Оценка последствий взрывов нефтепродуктов на судах обычно производится в соответствии с ФНиП «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», а также ГОСТ Р 12.3.047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов». Подробное описание методики расчета и выбора исходных данных приведено в [10].

Важной характеристикой НП при оценке механического воздействия на ОС является грузоподъемность судов, обеспечивающих транспортировку нефтепродуктов в рассматриваемом бассейне внутренних водных путей (ВВП); данные по некоторым проектам представлены в табл. 4.

Результаты статистического анализа грузоподъемности судов, обеспечивающих перевозки нефтепродуктов в Волжском бассейне показаны в табл. 5.

Таблица 4

Фрагмент перечня нефтеналивных судов, обеспечивающих перевозки нефтепродуктов в Волжском бассейне

| № | Тип / Название судна | Проект | Дата постройки | Грузоподъемность, т, в реке |
|---|--------------------------------|--------|----------------|-----------------------------|
| 1 | ЛУКОЙЛ / АЗОВ МАРИНЕР | 00201Л | 1999 | 6620 |
| 2 | VF TANKER / ВАЛЕНТИН ГРУЗДЕВ | RST27 | 2014 | 5378 |
| 3 | АРМАДА / NAZAR | RST22 | 2009 | 7074 |
| 4 | ВЯТКА / ВЯТКА 13 | P-135B | 1986 | 300 |
| 5 | ВОЛГОНЕФТЬ / МЕХАНИК ЧЕБОТАРЕВ | 1577 | 1974 | 4849 |
| 6 | ЛЕНАНЕФТЬ / ЛЕНАНЕФТЬ-2053 | 621 | 1984 | 3652 |
| 7 | АЛЬКОР / САНАР-1 | 17103 | 2005 | 5404 |
| 8 | АРМАДА / КАПИТАН НАГДАЛИЕВ | RST22M | 2011 | 4611 |

Таблица 5

Статистический анализ грузоподъемности судов, обеспечивающих перевозки нефтепродуктов в Волжском бассейне

| Характеристика вариационного ряда | Все | 1 группа | 2 группа | 3 группа | 4 группа |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|
| Количество наблюдений | 31 | 8 | 5 | 12 | 6 |
| Диапазон изменения | 121,5...12368 | 121,5... 2162,58 | 2162,58... 4203,67 | 4203,67... 6244,75 | 6244,75... 12368 |
| Мин/Макс значение | 121,5...12368 | 121,5/1856 | 2700/3652 | 4282/5600 | 6321/12368 |
| Размах вариации | 12246,5 | 1734,5 | 952 | 1318 | 6047 |
| $M \pm SD$ или $Me[25p;75p]$ | 4086,95± 2726,87 | 615,31±550,06 | 2812 [2700; 3270] | 5000 [4730, 0; 5391] | 7707,17± 2313,53 |
| Коэффициент осцилляции/ вариации | 2,99/0,67 | 3,15/0,89 | -/- | -/- | 2,61/0,3 |
| Степень интенсивности вариации | >25% высокая | >25% высокая | -/- | -/- | >25% высокая |

Полученные результаты определяют следующий алгоритм построения матриц выбора типа взрывного процесса на НП в границах администрации бассейна (АБ) ВВП:

1. Сбор статистических данных и формирование БД по характеристикам НП — дислокация НП, берег дислокации (левый, правый), расстояние до объекта поражения, тип и масса нефтепродуктов (грузоподъемность судна).

2. Статистический анализ расстояний до объекта поражения, оценка диапазонов их изменения и предварительное ранжирование НП по уровню риска механического воздействия ЧС(Н) на ОС (через косвенный показатель).

3. Статистический анализ грузоподъемности танкеров, обеспечивающих перевозки нефтепродуктов в рассматриваемой АБ ВВП и группировка судов по этому признаку. Определение минимальных и максимальных значений в группе.

4. Формирование исходных данных для построения матрицы (диапазоны или конкретные значения независимых факторов).

5. Оценка параметров детонационного взрыва.

6. Оценка параметров дефлаграционного взрыва.

7. Определение консервативного типа взрывного процесса.

8. Оценка последствий взрыва нефтепродуктов по степени разрушений.

9. Построение предварительной матрицы.

10. Оценка границы перехода консервативного типа взрывного процесса от детонации к дефлаграции.

11. Уточненная оценка последствий взрыва нефтепродуктов по степени разрушений.

12. Построение уточненной матрицы.

13. Визуализация матрицы путем построения регрессионных моделей, отражающих зависимость между избыточным давлением, грузоподъемностью судна и дистанцией до объекта поражения.

14. Получение уравнения связи для оценки границы перехода консервативного типа взрывного процесса от детонации к дефлаграции.

15. Разработка классификации НП в границах АБ ВВП по степени опасности для ОС.

В табл. 6 представлена разработанная матрица выбора типа взрывного процесса для судов внутреннего и смешанного (река–море) плавания, обеспечивающих перевозки нефти и нефтепродуктов в Волжском бассейне.

Таблица 6

Матрица выбора типа взрывного процесса для судов внутреннего и смешанного (река–море) плавания Волжского бассейна (фрагмент)

| Грузоподъемность судна, т | Расстояние до объекта, м | $\Delta P_{дет}$, кПа | $\Delta P_{деф}$, кПа | $\frac{\Delta P_{дет}}{\Delta P_{деф}}$, кПа / кПа | Тип взрывного процесса | Степень разрушений для промышленных зданий |
|---------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|---|------------------------|--|
| 12368 | 405 | 197,30 | 46,36 | 4,26 | Дет. | Полное |
| 12368 | 550 | 117,27 | 40,49 | 2,90 | Дет. | Сильное |
| 12368 | 1975 | 14,84 | 14,54 | 1,02 | Дет. | Слабое |
| 12368 | 2078 | 13,82 | 13,83 | 1,00 | Деф. | Слабое |
| 12368 | 3400 | 7,24 | 8,32 | 0,87 | Деф. | Отсутствует |
| 7334 | 341 | 196,57 | 46,34 | 4,24 | Дет. | Полное |
| 7334 | 550 | 87,21 | 36,53 | 2,39 | Дет. | Сильное |
| 7334 | 1747 | 13,80 | 13,82 | 1,00 | Деф. | Слабое |
| 7334 | 1975 | 11,67 | 12,22 | 0,96 | Деф. | Слабое |
| 7334 | 3400 | 5,86 | 6,91 | 0,85 | Деф. | Отсутствует |
| ... | | | | | | |
| 121,5 | 87 | 196,29 | 46,33 | 4,24 | Дет. | Полное |
| 121,5 | 445 | 13,82 | 13,83 | 1,00 | Деф. | Слабое |
| 121,5 | 550 | 10,37 | 11,16 | 0,93 | Деф. | Слабое |
| 121,5 | 1975 | 2,30 | 2,78 | 0,83 | Деф. | Отсутствует |
| 121,5 | 3400 | 1,29 | 1,51 | 0,85 | Деф. | Отсутствует |

Для визуализации матрицы были построены регрессионные модели, отражающие зависимость между избыточным давлением, грузоподъемностью судна и дистанцией до объекта поражения:

$$\Delta P_{\text{дет}} = 109,171 + 0,0036P - 0,0453R \quad (1)$$

$$\Delta P_{\text{деф}} = 33,1442 + 0,0011P - 0,0116R \quad (2)$$

где $\Delta P_{\text{дет}}$ — избыточное давление при детонации, кПа; $\Delta P_{\text{деф}}$ — избыточное давление при дефлаграции, кПа; P — грузоподъемность судна, т; R — расстояние (дистанция) до объекта поражения, м.

При этом коэффициенты детерминации $R^2 \geq 0,7$, что говорит о высокой степени адекватности полученных уравнений моделируемому процессу.

Графическое изображение связей показано на рис. 2 и 3.

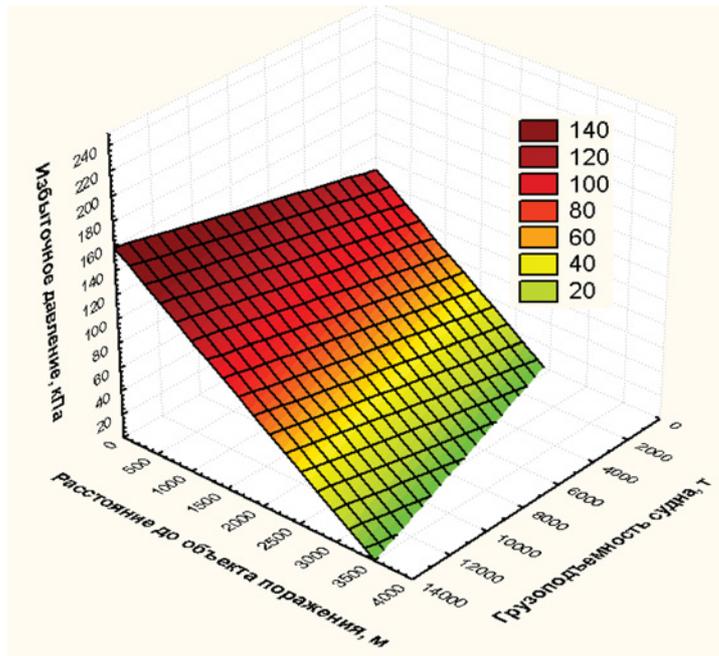


Рис. 2. Зависимость между избыточным давлением, грузоподъемностью судна и дистанцией до объекта поражения при детонационном режиме

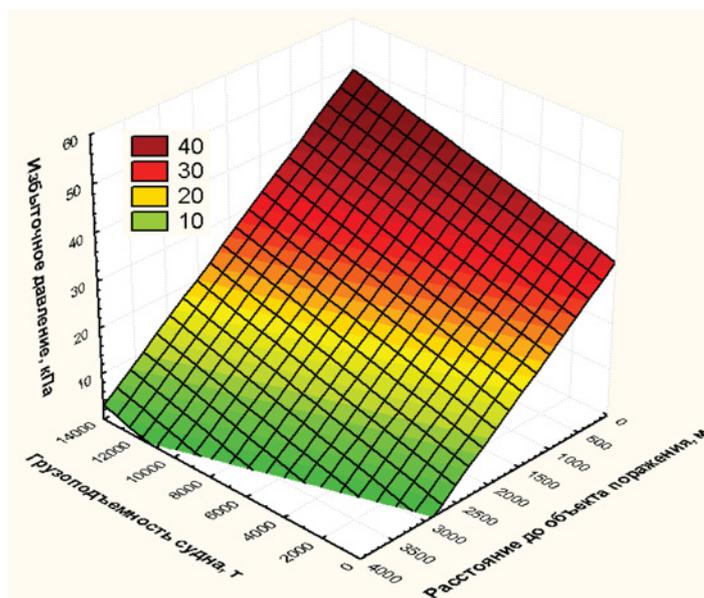


Рис. 3. Зависимость между избыточным давлением, грузоподъемностью судна и дистанцией до объекта поражения при дефлаграционном режиме

На основании данных табл. 6 было получено уравнение связи для оценки границы перехода консервативного типа взрывного процесса от детонации к дефляции в виде

$$R = 89,8781P^{0,333285} \quad (3)$$

При этом коэффициент детерминации $R^2 = 1$, что определяет существование функциональной зависимости между исследуемыми величинами, графическое изображение которой представлено на рис. 4.

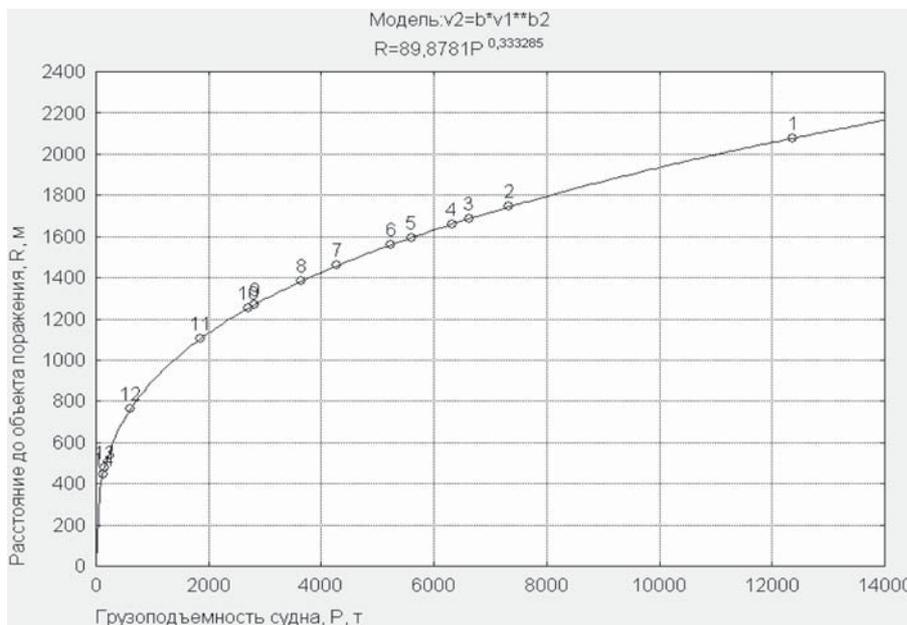


Рис. 4. Уравнение связи для оценки границы перехода консервативного типа взрывного процесса от детонации к дефляции

На основе созданных БД по характеристикам НП и матрицы выбора типа взрывного процесса была разработана классификация НП Волжского бассейна по степени опасности для ОС в зависимости от возможной степени разрушений при реализации ЧС(Н), сопряженной с пожарами или взрывами (для среднего значения грузоподъемности 4086,95 т), представленная на рис. 5 и в табл. 7. При этом было установлено, что доля НП 1-го класса опасности превышает 60 % от общего количества НП Волжского бассейна (см. рис. 5).



Рис. 5. Классификация нефтяных причалов Волжского бассейна по степени опасности для окружающей среды

**Ранжирование нефтяных причалов Волжского бассейна
по степени опасности для окружающей среды**

| № | Наименование группы НП | Степень разрушений | Избыточное давление, кПа | Расстояние до объекта поражения, м | Количество НП в группе | Доля группы НП, (%) | НП — представители, км р. Волги |
|---|------------------------|--------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------|
| 1 | Чрезвычайно опасные | Полное | 55,43–314,4 | 75–612 | 36 | 62,07 | 528,40; 899,10 |
| 2 | Особо опасные | Сильное | 35,53–40,7 | 150–795 | 8 | 13,8 | 935,80; 1469,50 |
| 3 | Высоко опасные | Среднее | 26,95–31,7 | 850–950 | 5 | 8,62 | 1173,80; 2477,00 |
| 4 | Умеренно опасные | Слабое | 16,73–22,21 | 1075–1300 | 3 | 5,17 | 3057,10; 3059,00 |
| 5 | Неопасные | Отсутствует | 5,8–9,72 | 2100–3400 | 6 | 10,34 | 2585,20; 2586,10 |

Выводы

1. В результате выполненных исследований создана БД по характеристикам НП Волжского бассейна (дислокация НП, берег дислокации, расстояние до объекта поражения, тип и масса нефтепродуктов).

2. На основании результатов статистического анализа характеристик НП сделан вывод о существовании в Волжском бассейне потенциальной опасности для всех выделенных категорий объектов поражения и предложен порядок ранжирования НП по уровню риска механического воздействия ЧС(Н) через косвенный показатель (дистанция до объекта поражения) на ОС (антропогенные объекты).

3. Выполнен статистический анализ грузоподъемности судов, обеспечивающих перевозки нефтепродуктов в Волжском бассейне.

4. Разработан порядок построения матрицы выбора типа взрывного процесса на танкерах.

5. Впервые создана матрица выбора типа взрывного процесса для судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания, перевозящих нефть и нефтепродукты в Волжском бассейне.

6. Для визуализации матрицы выбора типа взрывного процесса построены регрессионные модели, отражающие зависимость между избыточным давлением, грузоподъемностью судна и дистанцией до объекта поражения. При этом коэффициенты детерминации $R^2 \geq 0,7$, что говорит о высокой степени адекватности полученных уравнений моделируемому процессу.

7. Впервые получено уравнение связи дистанции до объекта поражения и грузоподъемности танкера для оценки границы перехода консервативного типа взрывного процесса от детонации к дефлаграции. При этом значение коэффициента детерминации $R^2 = 1$ означает функциональную зависимость между переменными.

8. Впервые разработана классификация НП Волжского бассейна по степени опасности для ОС в зависимости от возможной степени разрушений при реализации ЧС(Н), сопряженной с пожарами или взрывами. При этом было установлено, что доля НП 1-го класса опасности превышает 60 % от общего количества НП Волжского бассейна.

9. Полученные результаты нашли применение при разработке и отработке более 100 планов ЛАРН; в процессе подготовки более 200 спасателей и руководителей АСФ (Н) в составе персонала организаций водного транспорта на базе учебно-тренажерного центра по управлению кризисными ситуациями природного и техногенного характера Волжской государственной академии водного транспорта; при разработке мероприятий по обеспечению допустимого уровня риска негативного влияния судоходства на ГТС Нижегородской и Ростовской АЭС.

Список литературы

1. *Воробьев Ю. Л.* Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. — М.: Ин-октаво, 2005. — 368 с.
2. Постановление Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 декабря 2005 г. N 16 «Об утверждении и введении в действие федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии». [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://base.consultant.ru/cons/>, свободный. — Загл. с экрана.
3. *Наумов В. С.* Оценка ущерба при разливах нефти на объектах транспортного комплекса / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин // Журнал университета водных коммуникаций. — 2010. — № 1. — С. 152–157.
4. *Пластинин А. Е.* Особенности оценки ущерба при разливах нефти на внутренних водных путях / А. Е. Пластинин, А. Н. Каленков // Приволжский научный журнал. — 2011. — № 3. — С. 168–174.
5. *Наумов В. С.* Моделирование процессов ликвидации разливов нефти с судов / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин // Речной транспорт (XXI век). — 2014. — № 3. — С. 65–70.
6. *Наумов В. С.* Организация контроля потенциально-опасных объектов судоходства / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин. Журнал университета водных коммуникаций. — 2010. — № 4. — С. 92–97.
7. *Наумов В. С.* Проблема защиты экологически чувствительных территорий при разливах нефти на внутренних водных путях / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин, О. С. Нестерова // Журнал университета водных коммуникаций. — 2013. — № 3(19). — С. 130–135.
8. *Наумов В. С.* Управление кризисными ситуациями природного и техногенного характера. Учебное пособие / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин. — Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2009. — 208 с.
9. *Елисеева, И. И., Юзбашев М. М.* Общая теория статистики: учебник / Под ред. И. И. Елисеевой. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Финансы и статистика, 2006. — 656 с.
10. Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия. РБ Г-05-039-96 (утв. Постановлением Госатомнадзора России 31 декабря 1996 г. № 100). [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200061429>, свободный. — Загл. с экрана.

УДК 539.3:[624.044.2]

Г. Н. Ширунов,
канд. техн. наук, доц.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НОРМАЛЬНОЙ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ СИЛЫ В ЗАДАЧЕ ЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМОГО ОСНОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ

MODELING NORMAL CONCENTRATED FORCE IN THE PROBLEM LINEARLY DEFORMABLE FOUNDATION OF HYDRAULIC ENGINEERING STRUCTURE

Методом начальных функций (МНФ) решена трехмерная задача сжатия изотропного слоя нормальной сосредоточенной силой. Функция сосредоточенной силы описывается рядами Фурье с удержанием конечного количества членов. Рассмотрение достаточно большой толщины слоя и выделение из него области в виде параллелепипеда больших размеров может трактоваться как модель упругого полупространства. Численно-аналитическое решение позволяет определять компоненты напряженно-деформируемого состояния (НДС) грунтового основания, свойства которого принимаются линейно-упругими. Приводится сравнение полученных результатов с известными формулами задачи Буссинеска и Лява. Расчеты выполнены с использованием программы, разработанной на основе комплекса символьных вычислений Maple.

Three-dimensional problem of elasticity theory of isotropic body about compression layer by the normal concentrated force, is solved by the method of initial functions (MIF). Function point force is described by the Fourier series with retention of a finite number of terms of the series. The appointment of a sufficiently large thickness of the layer and the allocation from there of a parallelepiped form region also large sizes can be interpreted as the model of an elastic half-space. Numerical-analytical solution allows to define the components of the stress-deformed state of the soil Foundation with linearly elastic properties are accepted. Comparison of the obtained results with the known formulas tasks Boussinesq and Love. The implementation of the mathematical model calculations performed using the developed program on the basis of a complex symbolic computation Maple.

Ключевые слова: теория упругости, упругое полупространство, метод начальных функций, численно-аналитическое решение.

Key words: theory of elasticity, elastic half-space, the method of initial functions, numerical-analytical solution.

Введение

Решение задачи о воздействии сосредоточенной силы на упругий слой или полупространство широко применяется в многочисленных практических приложениях: расчет оснований фундаментов, несущего покрытия от воздействия транспортного оборудования и др. В практике гидротехнического строительства часто встречаются задачи передачи сосредоточенных нагрузок, речь идет о судоходных шлюзах, грузоподъемных подвижных и неподвижных погрузчиках в портах, перегрузочных механизмах, где нагрузка на основание передается на ограниченном участке.

Хотя на практике не существует силового воздействия на тело, передающегося в точке, однако такая абстракция расчетной схемы успешно используется для разных моделей. Определяются перемещения, интегральные силовые факторы — моменты и поперечные силы в балках, пластинках и других элементах строительных конструкций. В двумерных и пространственных задачах теории упругости (ТУ) получаемые решения (в точке приложения силы), имеют как самостоятельное значение вне этой зоны, так и используются в качестве промежуточного результата. Примером является задача Буссинеска. На основании принципа суперпозиции решения для сосредоточенных сил, приложенных в разных точках границы полупространства, складываются, таким образом решается задача о нагружении части границы. В механике грунтов она используется в виде формул Лява и применяется в практических расчетах грунтовых оснований фундаментов.

В работах [1], [2] методом начальных функций (МНФ) получено решение для параллелепипеда, выделенного из бесконечного периодически нагруженного линейно-деформируемого слоя, где в центре верхней грани на квадратной площадке приложена сжимающая, равномерно распределенная нагрузка. Реализация такого рода решений для быстроменяющейся функции нагрузки стала возможна в связи с широким внедрением в расчетную практику системы аналитических вычислений Maple [3]–[10], позволяющей производить вычисления с мантисой произвольной длины. Функция нагрузки описывается с помощью рядов Фурье.

В данной работе решается задача о нагружении параллелепипеда сосредоточенной сжимающей силой. Удержание в ряде Фурье того или иного количества членов позволяет приближенно моделировать локальное воздействие нагрузки, распределенной на ограниченной площадке, размеры которой уменьшаются с ростом числа удерживаемых членов.

Постановка задачи

Основное соотношение МНФ записывается в виде:

$$\mathbf{U} = \mathbf{L}\mathbf{U}^0, \quad (1)$$

где \mathbf{U} — вектор компонентов напряженно-деформированного состояния:

$$\mathbf{U} = \{u, v, w, \sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{xz}, \sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}\};$$

\mathbf{U}^0 — вектор начальных функций, определенных на начальной плоскости при $z = 0$:

$$\mathbf{U}^0 = \{u^0, v^0, w^0, \sigma_z^0, \tau_{yz}^0, \tau_{xz}^0\};$$

\mathbf{L} — матрица операторов МНФ, представляющих комбинации гиперболических функций синусов и косинусов.

Вектор начальных функций, представленный следующим образом:

$$\mathbf{U}_{mn}^0 = \begin{bmatrix} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} u_{mn}^0 \cos \alpha_m x \sin \beta_n y \\ \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} v_{mn}^0 \sin \alpha_m x \cos \beta_n y \\ \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{mn}^0 \sin \alpha_m x \sin \beta_n y \\ \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sigma_{zmn}^0 \sin \alpha_m x \sin \beta_n y \\ \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \tau_{yzmn}^0 \sin \alpha_m x \cos \beta_n y \\ \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \tau_{xzm}^0 \cos \alpha_m x \sin \beta_n y \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $\alpha_m = \frac{m\pi}{l_x}, \beta_n = \frac{n\pi}{l_y}$ дает решение в «синусах».

Результат воздействия операторов матрицы \mathbf{L} на начальные функции является значениями операторов $\bar{L}_{ij}, i = 1, \dots, 9, j = 1, \dots, 6$, полученных ранее в работах [11], [12].

На начальной плоскости — верхней грани параллелепипеда — при $z = 0$ приняты следующие граничные условия: $\tau_{yz}^0 = 0, \tau_{xz}^0 = 0, \sigma_z^0 = q(x, y)$. На нижней грани при $z = h$ приняты условия отсутствия перемещений: $u(x, y, h) = 0, v(x, y, h) = 0, w(x, y, h) = 0$.

Используя основное соотношение МНФ (1), записываем систему уравнений, удовлетворяющих граничным условиям на грани $z = h$:

$$\left. \begin{aligned} \bar{L}_{11}(h)u^0 + \bar{L}_{12}(h)v^0 + \bar{L}_{13}(h)w^0 + \bar{L}_{14}(h)\sigma_z^0 &= 0 \\ \bar{L}_{21}(h)u^0 + \bar{L}_{22}(h)v^0 + \bar{L}_{23}(h)w^0 + \bar{L}_{24}(h)\sigma_z^0 &= 0 \\ \bar{L}_{31}(h)u^0 + \bar{L}_{32}(h)v^0 + \bar{L}_{33}(h)w^0 + \bar{L}_{34}(h)\sigma_z^0 &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Для каждой гармоники двойного тригонометрического ряда Фурье, представляющего функцию нагрузки $\sigma_z^0 = P(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} p_{mn} \sin \alpha_m x \sin \beta_n y$, решается неоднородная система алгебраических уравнений вида (3) относительно неизвестных коэффициентов разложения начальных функций u_{mn}^0, v_{mn}^0 и w_{mn}^0 . Все компоненты НДС находятся из основного соотношения (1) с представлением найденных начальных функций в виде рядов Фурье.

Рассчитывается параллелепипед высотой $h = 12$ м с размерами в плане $l_x = l_y = 12$ м под действием сосредоточенной силы $P = 100$ кН, приложенной в центре верхней грани начальной плоскости $z = 0$ (рис. 1). Модуль упругости материала принят $E = 20$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,35$.

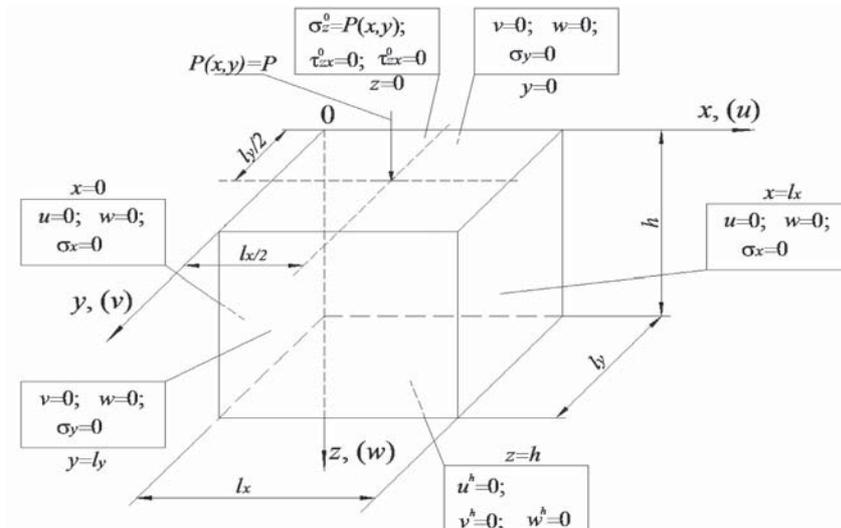


Рис. 1. Расчетная схема параллелепипеда. Граничные условия

Нагрузка

Коэффициенты двойного тригонометрического ряда Фурье для сосредоточенной силы определяются по формуле

$$p_{mn} = \frac{4P}{l_x l_y} \sin\left(\frac{m\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{n\pi}{2}\right). \quad (4)$$

Ряд Фурье с коэффициентами (4) является расходящимся в точке приложения силы, однако при удержании в нем конечного числа членов функция нагрузки будет непрерывной.

Для сглаживания колебаний функции $P(x,y)$ и уменьшения явления Гиббса в точках разрыва применены σ -множители Ланцоша [13]. При удержании конечного числа членов ряда Фурье M и N коэффициенты p_{mn} домножаются на σ -множители. Тригонометрический полином для $P(x,y)$ записывается в виде

$$P(x,y) = \frac{4P}{l_x l_y} \sum_m^M \sum_n^N \sin\left(\frac{m\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{n\pi}{2}\right) \frac{\sin\left(\frac{m\pi}{M}\right) \sin\left(\frac{n\pi}{N}\right)}{\left(\frac{m\pi}{M}\right) \left(\frac{n\pi}{N}\right)} \sin\left(\frac{m\pi}{l_x} x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{l_y} y\right). \quad (5)$$

Трехмерный график такой функции будет иметь форму вытянутого колокола с квадратным основанием.

Рассмотрены три варианта нагружения с удержанием по каждой координате 71, 83 и 101 члена ряда (5). Во избежание проблемы вычислительной неустойчивости (см. [14], [15]) серией вычислительных экспериментов определена длина мантииссы представления чисел. Для 71 гармоник по каждой из координат принята мантиисса длиной 155, для 83 — 170, для 101 — 205 значащих цифр. На рис. 2 представлены графики нагрузки с различными M и N .

Ближайшие к точке приложения силы корни уравнений $P(x,y) = 0$ определяют размеры квадратных грузовых площадок Al_i со сторонами a_i . Сила, соответствующая центральному пику функции (5), определяется интегралом

$$S_i = \int_{Al_i} P(x,y) dx dy. \quad (6)$$

Разность между интегралами функции нагрузки S_i по площадкам $Al = a_i^2$ и значения силы P не больше 5 % и медленно уменьшается с ростом числа удерживаемых гармоник: 4,812 % — для $M = N = 71$ и 4,808 % — для $M = N = 101$.

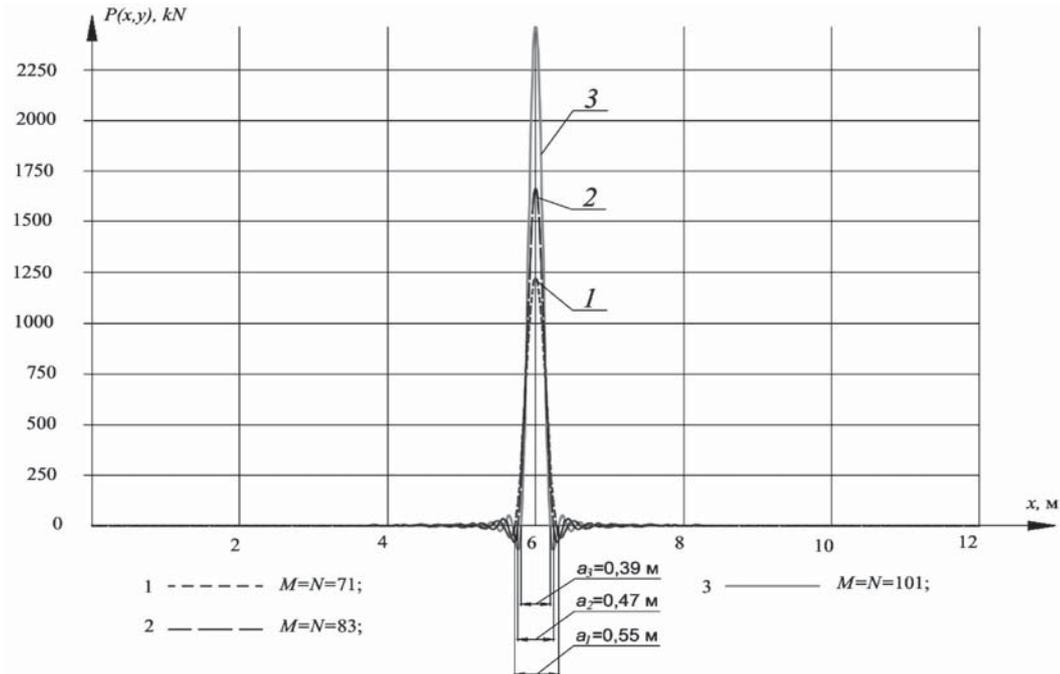


Рис. 2. Сосредоточенная сила $P = 10^2$ кН в центре верхней грани параллелепипеда 12×12 м при $y = l_y/2$:
1 — $N = M = 71$; 2 — $N = M = 83$; 3 — $N = M = 101$

Результаты расчетов

Для сравнения безразмерных величин напряжений вычислены относительные значения нормальных напряжений, определяемые соотношением $\bar{\sigma}_z = \frac{\sigma_z}{P/a_i^2}$.

На рис. 3 показаны графики изменения по глубине (координате z) относительных нормальных напряжений $\bar{\sigma}_z$ под точкой приложения силы. Эпюры представлены для трех вариантов описания нагрузки, также показана кривая по решению Буссинеска. Из графиков видно, как при увеличении количества удерживаемых членов ряда (5) изменяется распределение напряжений по глубине: с ростом чисел M и N происходит приближение к решению задачи ТУ.

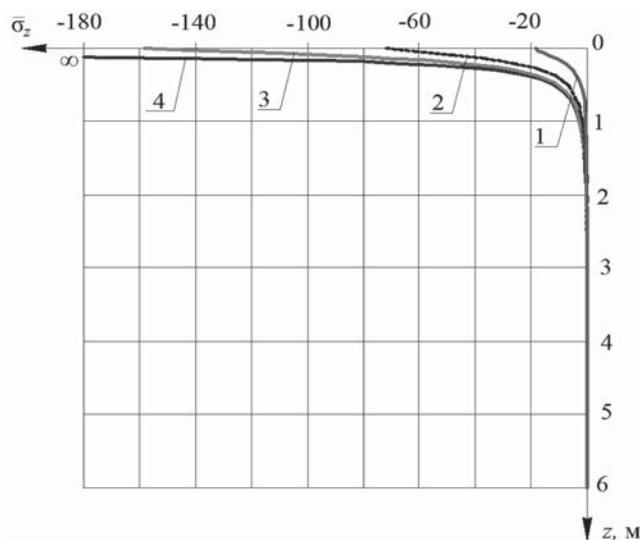


Рис. 3. Эпюры относительных нормальных напряжений $\bar{\sigma}_z$ по глубине толщи в центре грузовой площадки:
1 — МНФ, $M = N = 71$; 2 — МНФ, $M = N = 83$;
3 — МНФ, $M = N = 101$; 4 — решение Буссинеска

Если принять распределение нагрузки от центрального пика S_i постоянным и определить размер квадратной площадки из условия

$$a_i = \sqrt{\frac{P(x=l_x/2, y=l_x/2)}{S_i}},$$

то вычисленные по формулам Лява напряжения $\bar{\sigma}_z$ в точке $x=l_x/2$ и $y=l_y/2$ практически по всей глубине толщи очень близки к значениям, полученным МНФ (рис. 4).

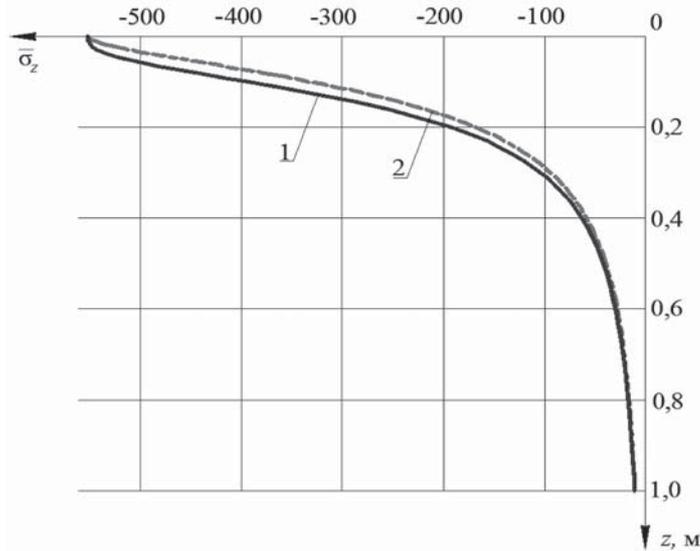


Рис. 4. Эпюры относительных нормальных напряжений $\bar{\sigma}_z = \sigma_z / (S_3 / a^2)$ по глубине толщи в центре грузовой площадки:
 1 — по формулам Лява; 2 — МНФ, $M = N = 101$

Максимальные расхождения значений наблюдаются на глубине $z = 0,54a_i$ и составляют около 16 %. Для случаев 1 и 2 описания нагрузки ($M = N = 71$ и $M = N = 83$ соответственно) характер эпюр остается таким же, как на рис. 4, но точка максимальных расхождений в значениях $\bar{\sigma}_z$ по МНФ и формулам Лява по глубине z располагается дальше от начальной плоскости.

Графики относительных вертикальных перемещений $\bar{w} = \frac{wE}{P / a_3^2 h}$ при $z = 0$ в середине параллелепипеда, полученных МНФ и по формуле Буссинеска, хорошо согласуются между собой за исключением точки приложения силы (рис. 5).

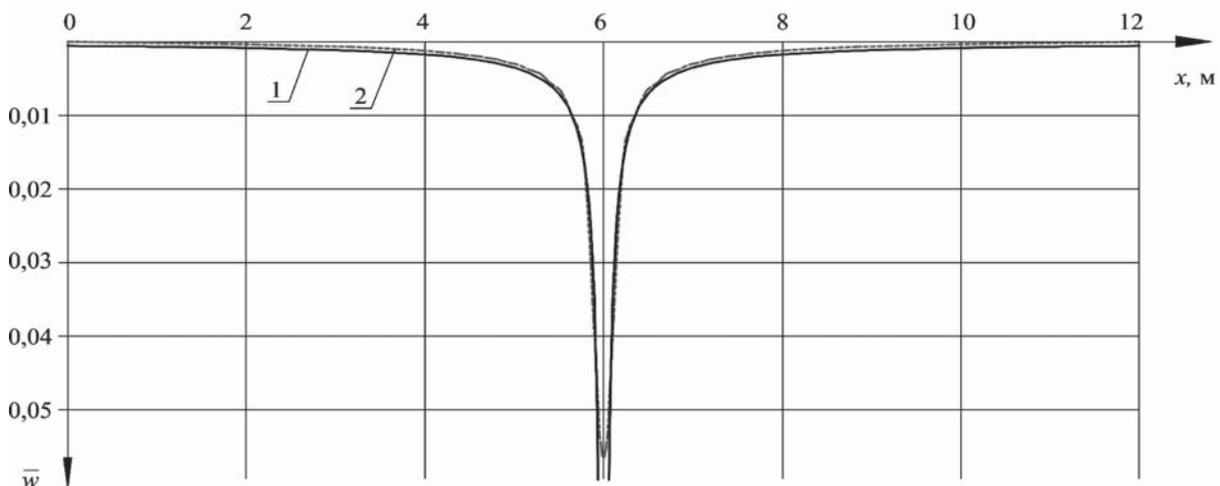


Рис. 5. Изолинии относительных перемещений \bar{w} :
 1 — по формулам Буссинеска; 2 — МНФ, $M = N = 101$

Заключение

Предложенный способ моделирования локальной нагрузки для параллелепипеда позволяет получать результаты, которые хорошо согласуются с решениями теории упругости для полупространства.

С ростом числа удерживаемых членов тригонометрического полинома, получающегося из усеченного ряда Фурье, возрастает максимальное значение функции в центре квадратной грузовой площадки с одновременным уменьшением ее размеров. Такой подход можно применять для приближенного описания распределенной нагрузки на малом участке, когда известна лишь ее суммарная величина, а закон распределения давления точно неизвестен, либо не имеет существенного значения в рамках поставленной инженерной задачи.

Изменяя количество удерживаемых членов ряда, можно подобрать функцию (сохраняя ее интегральное значение), с нужными размерами грузовой площади и таким образом описывать силовое воздействие на основание фундамента гидротехнического сооружения, колес портовых погрузчиков с упругими шинами и другого подъемно-транспортного оборудования, применяемого в портах.

Список литературы

1. Ширунов Г. Н. Анализ напряженно-деформированного состояния упругого слоя под действием локальной нагрузки методом начальных функций / Г. Н. Ширунов // Вестник гражданских инженеров. — 2014. — № 5(46). — С. 58–67.
2. Shirunov G. N. A method of initial functions in analyzing a stress and strain state of an elastic layer // 2014 International conference on computer technologies in physical and engineering applications (ICCTPEA) Editor: E. I. Veremey. Санкт-Петербургский государственный университет; IEEE (IEEE Catalog number CFP14BDA–USB). — 2014. — С. 166–167.
3. Голоскоков Д. П. Моделирование напряженно-деформированного состояния упругих тел с помощью полиномов / Д. П. Голоскоков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 1. — С. 8–14.
4. Голоскоков Д. П. Аналитический расчет водоудерживающей обшивки сегментного затвора в гидротехнических сооружениях / Д. П. Голоскоков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2012. — № 4. — С. 22–29.
5. Голоскоков Д. П. Математическое моделирование нестационарных температурных полей / Д. П. Голоскоков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2011. — № 1. — С. 79–83.
6. Матросов А. В. Численно-аналитический расчет балок-стенок на линейно-упругом основании / А. В. Матросов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2011. — № 2. — С. 14–21.
7. Матросов А. В. Расчет балочных перекрытий численно-аналитическим методом / А. В. Матросов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2012. — № 1. — С. 8–15.
8. Матросов А. В. Численно-аналитическое моделирование передачи усилий от балки к пластине / А. В. Матросов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2011. — № 4. — С. 21–27.
9. Матросов А. В. Оценка краевых эффектов в задаче взаимодействия нагруженной полосы и упругой среды / А. В. Матросов, Г. Н. Ширунов // Вестник гражданских инженеров. — 2014. — № 2(43). — С. 61–64.
10. Ширунов Г. Н. Точные решения задачи теории упругости для проверки практической сходимости конечно-элементных моделей / Г. Н. Ширунов // Вестник гражданских инженеров. — 2013. — № 6 (41). — С. 53–57.

11. *Матросов А. В.* Замкнутая форма операторов метода начальных функций для пространственной задачи теории упругости / А. В. Матросов, Г. Н. Ширунов // Процессы управления и устойчивость: Труды 44-й международной научной конференции аспирантов и студентов / под ред. Н. В. Смирнова, Т. Е. Смирновой. — СПб.: Изд. дом СПбГУ, 2013. — С. 256–262.

12. *Матросов А. В.* Алгоритмы получения замкнутых форм операторов метода начальных функций для пространственных задач теории упругости / А. В. Матросов, Г. Н. Ширунов // Вестник гражданских инженеров. — 2014. — № 1 (42). — С. 136–144.

13. *Голоскоков Д. П.* Уравнения математической физики. Решение задач в системе *Maple*. / Д. П. Голосков. — СПб.: Питер, 2004. — 538 с.

14. *Матросов А. В.* Вычислительная неустойчивость алгоритма метода начальных функций / А. В. Матросов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2010. — № 4. — С. 30–39.

15. *Galileev S. M.* Method of initial functions: stable algorithms in the analysis of thick laminated composite structures / *S. M. Galileev, A. V. Matrosov* // *Composite Structures*. — 1997. — Т. 39. — № 3–4. — С. 255–262.

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

УДК 629.12-8:621.039

В. И. Королев,
канд. техн. наук, проф.;

А. Ю. Ластовцев,
канд. техн. наук, проф.

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ ПЛАВУЧИХ ОБЪЕКТОВ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ, ПРЕДОТВРАЩАЮЩИХ ВЫХОД ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

INCREASE SAFETY OF NUCLEAR FACILITIES BY FLOATING IMPROVEMENT OF SECURITY SYSTEMS, LEAKAGE OF THE COOLANT IN THE ENVIRONMENT

Рассмотрены вопросы анализа совершенствования систем безопасности судовых реакторных установок, которые предназначены для предотвращения выхода теплоносителя за пределы контура циркуляции, защитную оболочку и окружающую среду. Разработана логическая структурная связь возможного развития аварии и последующего введения предусмотренных проектом систем безопасности, обеспечивающих минимальные последствия от аварии. На всех плавучих объектах выполнено несколько уровней эшелонированной защиты, предотвращающей выход теплоносителя в окружающую среду. Каждый последующий уровень вводится в случае не достаточной отработки предыдущего. Таким образом, выход активных изотопов в окружающую среду — маловероятное событие. Показано, что эволюция систем безопасности идет от активного принципа работы к пассивному, что повышает надежность их отработки в аварийных ситуациях. Новые системы безопасности вводятся на судах с ЯЭУ для недопущения аварийных ситуаций, которые уже произошли на действующих атомных судах или при ужесточении Международных и Российских требований к безопасности ядерных объектов.

The problems of analysis of improving the safety systems for ships reactor facilities, which are designed to prevent the escape of coolant outside circuit, protective cover and the environment are considered. Developed logical structural relationship of possible development of the accident and the subsequent introduction of safety systems provided by the project to ensure minimal impact from the accident. On all floating objects a few levels are executed of the echeloned defence, preventing the exit of coolant-moderator in an environment. Every subsequent level is entered in case of the not sufficient working off previous. Thus an exit of active isotopes in an environment is an improbable event. It is shown that the evolution of security systems comes from the active to the passive principle of operation, which increases the reliability of their working in emergency situations. New security systems are introduced on ships with nuclear power installations in order to avoid accidents that have already occurred at operating nuclear ships or at increasing international and Russian requirements for the safety of nuclear facilities.

Ключевые слова: глубокоэшелонированная защита, система безопасности, ухудшение теплоотвода, аварийное охлаждение, развития аварии, аварийная проливка, защитная оболочка, водородная обстановка, запроектная авария.

Key words: defense in depth, safety system, deterioration of the heat sink, emergency cooling of the accident, emergency spilling, protective shell, hydrogen atmosphere, beyond design, basis accident.



ВАРИЯ на АЭС «Фукусима-1» 11 марта 2011 г. привела к выбросу значительного количества радиоактивных изотопов в окружающую среду и Мировой океан. На АЭС были установлены реакторы типа BWR, построенные по проекту американской фирмы «General Electric». Анализ данной трагедии показывает, что системы безопасности этого реактора

не были способны предотвратить выход теплоносителя в окружающую среду и не были учтены особенности места установки данного объекта. Аварии был присвоен самый высокий седьмой уровень (крупная авария) по Международной шкале INES [1], [2].

В России в 2000 г. были приняты «Правила ядерной безопасности ядерных энергетических установок судов» (ПБЯ-С) НП-029-01 [3]. В соответствии с данным нормативным документом, основной целью обеспечения ядерной и радиационной безопасности плавучего объекта с ядерной установкой является недопущение выхода теплоносителя за пределы контура циркуляции в окружающую среду при надежном контроле и управлении реактивностью. Все ядерные объекты проектируются и эксплуатируются с последовательными эшелонами защиты. Предполагается, что существенные последствия на площадке и за ее пределами могут наступить только после нарушения всех эшелонов защиты. Такое построение мер безопасности получило название *глубокоэшелонированная защита*.

Выход теплоносителя за пределы контура циркуляции возможен при развитии конструктивных дефектов в трубопроводах, арматуре и оборудовании первого контура, а также при аварийном повышении давления в циркуляционном контуре реакторной установки. На рис. 1 приведена схема возможного развития аварии и последующие процедуры введения предусмотренных проектом систем безопасности, обеспечивающих минимальные последствия от аварии.

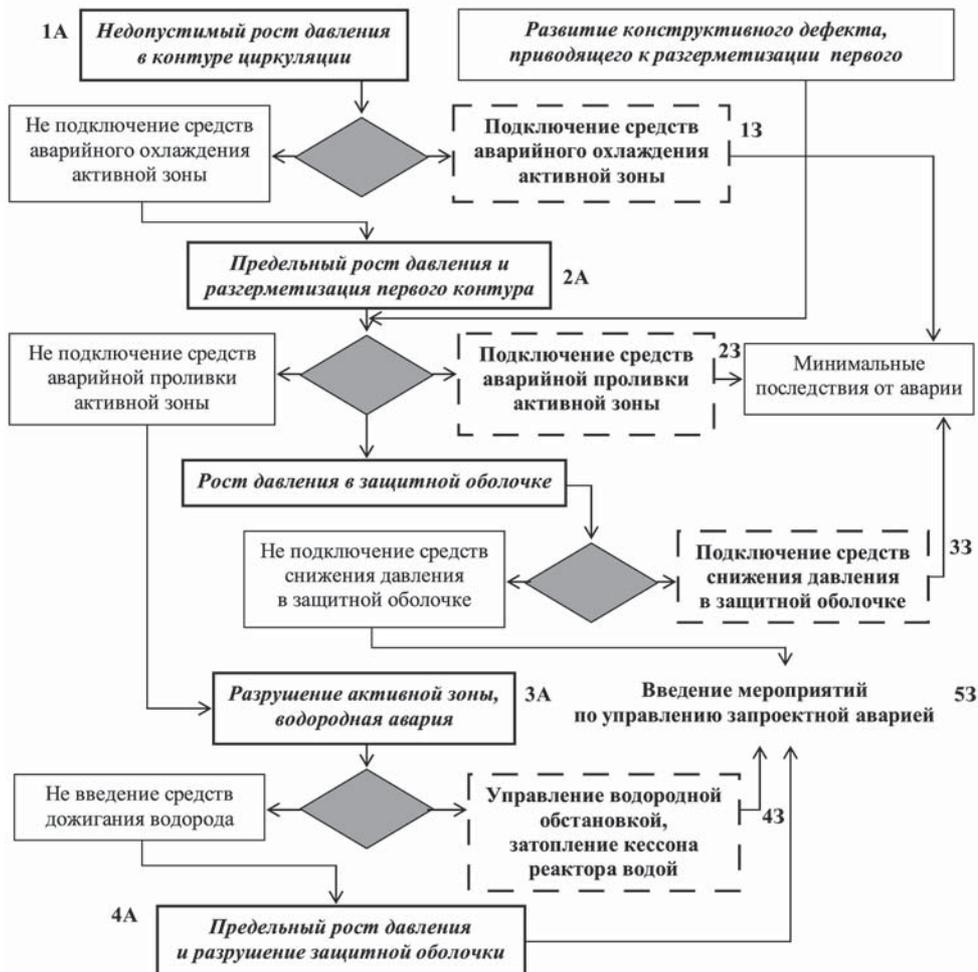


Рис. 1. Схема возможного развития аварии и последующего введения предусмотренных проектом систем безопасности, обеспечивающих минимальные последствия от аварии

Допустим, в процессе эксплуатации возникла аварийная ситуация, приводящая к росту давления в контуре циркуляции (например, из-за ухудшения теплоотвода от активной зоны). Данная ситуация на рис. 1 обозначена как 1А. Для предотвращения развития негативных последствий

необходимо незамедлительное введение дополнительных средств, обеспечивающих снижение давления в контуре циркуляции (например, ввод системы аварийного расхолаживания) [4]. Эти защитные средства на рис. 1 обозначены 1З. Однако возможна ситуация, когда дополнительные средства (1З) не подключились полностью или частично и давление продолжало увеличиваться до достижения предельного значения по условиям прочности наиболее слабого участка первого контура. В результате происходит разгерметизация первого контура и выход парогазовой смеси (ПГС) в объем защитной оболочки (ЗО); возникает аварийная ситуация 2А (рис. 1). Для предотвращения обезвоживания активной зоны необходимо своевременное подключение системы аварийной проливки активной зоны [5], т. е. использование средства защиты 2З (рис. 1). В свою очередь, выход парогазовой смеси из реакторной установки приведет к росту давления в ЗО, поэтому для того, чтобы не допустить ее разрыв, необходимо ввести средства снижения давления в ЗО [4]. На рис. 1 эти средства защиты обозначены 3З.

Если средства аварийной проливки не подключатся, то произойдет осушение активной зоны и интенсивность теплоотвода от активной зоны резко ухудшится (охлаждение за счет естественной конвекции воздуха), что приведет к ее перегреву и разрушению, вплоть до образования коридора (на рис. 1 аварийная ситуация обозначена 3А).

Чрезмерный разогрев активной зоны дополнительно связан с прохождением ряда химических процессов, которые приводят к образованию водорода. Наиболее опасна ситуация, когда водород вместе с кислородом воздуха образует взрывоопасный гремучий газ. Для предотвращения образования гремучего газа необходимо введение средств управления водородной обстановкой [6] и системы затопления кессона реактора водой — средств защиты 4З. Не введение в действие средств управления водородной обстановкой может привести к разрушению защитной оболочки и защитного ограждения, т. е. аварийной ситуации 4А. В этом случае необходимо проведение мероприятий по управлению данной запроектной аварией — 5З (см. рис. 1).

Глубина защиты от наихудшего сценария развития аварии по разрушению барьеров безопасности составляет четыре последовательно включаемые группы систем безопасности. Такая глубина защиты соответствует международным требованиям к уровню безопасности ядерных объектов. Возникновение приведенной цепи аварий (наихудшего сценария развития аварийной ситуации) на действующих проектах плавучих объектов — весьма маловероятное событие. Однако международные и российские требования к безопасности ядерных установок непрерывно повышаются, а это, в свою очередь, требует комплексного подхода к безопасности действующих и вновь вводимых ядерных установок. Для минимизации возможных последствий в цепочке событий, рассмотренных на рис. 1, служат защитные и локализирующие системы безопасности по классификации [7]. Необходимо введение защитных систем, обеспечивающих отвод остаточных тепловыделений от активной зоны и аварийную проливку активной зоны. Также требуется подключение локализирующих систем для снижения аварийного давления в защитной оболочке и затопления кессона реактора водой.

Аварийное расхолаживание (защитное средство 1З на рис. 1) осуществляется при прохождении сигнала аварийной защиты. При этом конструктивные решения должны обеспечивать высокую надежность включения и работоспособность системы аварийного расхолаживания. Первоначально предполагалось, что наличие двух независимых каналов расхолаживания обеспечивает высокую надежность расхолаживания при всех вероятных событиях [7]. Однако на а/л «Сибирь» возникла аварийная ситуация с полным обесточиванием ЯЭУ, в результате которой средства аварийного расхолаживания в течение длительного периода времени не были подключены. Данная ситуация показала, что существующие на атомных судах системы расхолаживания не в полной мере отвечают высоким требованиям безопасности. В результате возникла задача разработать систему аварийного расхолаживания, которая могла бы функционировать в любых условиях, вплоть до длительного полного обесточивания ЯЭУ. Важность этой задачи еще раз была подтверждена аварией на АЭС «Фукусима-1» [2]. Развитие систем аварийного расхолаживания активной зоны на плавучих объектах с ядерной установкой приведено на рис. 2.

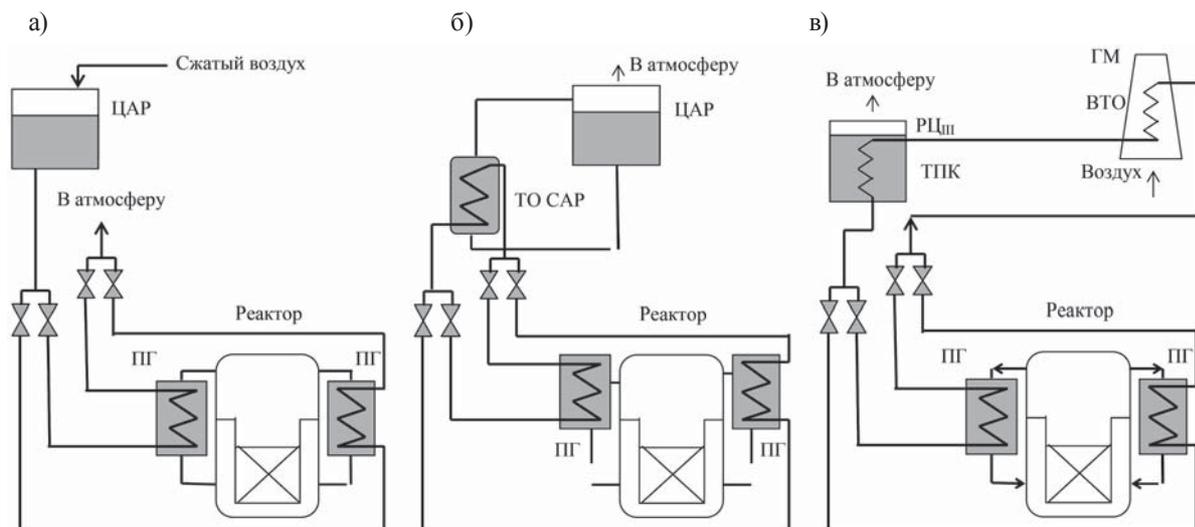


Рис. 2. Развитие систем аварийного расхолаживания на плавучих объектах с ЯУ с отводом теплоты к атмосферному воздуху:

- а — пассивный канал САР с использованием сжатого воздуха и отводом теплоты к атмосферному воздуху;
- б — пассивный канал САР с использованием промежуточного теплообменника и отводом теплоты к атмосферному воздуху;
- в — пассивный канал САР с использованием теплообменника охлаждаемого воздухом и отводом теплоты к атмосферному воздуху

Впервые на а/л («Ямал», «Таймыр») была установлена штатная пассивная система аварийного расхолаживания (САР), которая включалась автоматически при снижении давления пара за парогенераторами $p_{\text{пр}} \leq 0,4$ МПа — рис. 2 а. Затем подобные системы были внедрены на уже эксплуатируемых атомных судах. В этих системах вода поступает из двух цистерн аварийного расхолаживания (ЦАР), емкостью по $1,25 \text{ м}^3$ каждая. Во время прокачивания охлаждающей воды через ПГ теплоноситель циркулирует в первом контуре за счет естественной циркуляции (ЕЦ) [4], [8]. Электропитание контрольно-измерительной аппаратуры осуществляется от аккумуляторных батарей.

Основным ограничением длительности расхолаживания реакторной установки (РУ) в режиме ЕЦ в первом контуре при полном обесточивании ЯЭУ является наличие запасов охлаждающей воды (в ЦАР, деаэраторе), а также повышение температуры под крышкой циркуляционного насоса первого контура (ЦНПК) более чем до $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Дальнейшее развитие пассивная система расхолаживания реактора получила при проектировании плавучего энергоблока (ПЭБ) плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС) [4] — рис. 2 б. При этом были заданы дополнительные требования к повышению надежности расхолаживания активной зоны при аварии с обесточиванием энергетической установки. В данной пассивной системе между парогенераторами и ЦАР установлен промежуточный теплообменник системы аварийного расхолаживания (ТО САР), в который поступает охлаждаемая среда из парогенераторов. Охлаждение этой среды осуществляется водой, поступающей из ЦАР. Нагретая в ТО САР вода поступает в ЦАР за счет ЕЦ. Вода ЦАР постепенно испаряется с передачей теплоты атмосферному воздуху. Охлаждаемая в ТО САР пароводяная смесь из парогенераторов конденсируется и доохлаждается в ТО САР, а затем возвращается в парогенераторы. Циркуляция теплоносителя в реакторной установке, охлаждаемой среды в парогенераторах и охлаждающей воды в ЦАР, осуществляется за счет ЕЦ. Система включается при падении давления пара за парогенераторами и повышении давления в первом контуре со срабатыванием гидроуправляемого пневмораспределителя (ГУП) при давлении $(19,1 \pm 0,5)$ МПа. Данная система рассчитана на расхолаживание в течение примерно 12 ч.

На рис. 2 в приведена схема пассивного канала САР с использованием теплообменника, охлаждаемого за счет естественной конвекции атмосферного воздуха. Такую систему предполагается установить на атомном ледоколе нового поколения. Здесь среда (пар, паровоздушная смесь (ПВС), горячая вода), поступающая из парогенераторов, охлаждается в воздушном теплообменнике (ВТО), расположенном в воздуховоде грот-мачты. Затем конденсат доохлаждается в теплообменнике промежуточного контура, размещенном в расширительной цистерне третьего конура (РЦ_{III}). Таким образом, развитие систем защиты первого уровня (13 рис. 1) осуществлялось с целью повышения надежности их функционирования в наиболее вероятных ситуациях.

Опыт эксплуатации ядерных объектов показывает, что помимо активных требуется введение пассивных систем аварийного расхолаживания. При этом важнейшую роль начинают играть именно пассивные системы расхолаживания. Их функционирование высоконадежно, поскольку связано с естественными физическими закономерностями (естественная циркуляция, естественная конвекция). Кроме того, технические решения по повышению надежности систем первого уровня направлены на увеличение времени аварийного расхолаживания за счет увеличения запаса охлаждающей воды, которая может быть использована для расхолаживания.

Аварийная проливка активной зоны требует подключения защитных систем второго уровня (23 на рис. 1). Впервые штатная система аварийной проливки была установлена на а/л «Россия». Поводом к ее созданию послужила авария на АПЛ «К-19». Затем данная система была установлена на все предыдущие («Арктика», «Сибирь») и последующие а/л («Советский Союз», «Ямал»). Аварийная проливка здесь осуществляется за счет подачи чистой воды в реактор при помощи турбопитательных насосов, предварительно перестроенных на аварийную проливку — см. рис. 3 а. Вода на проливку поступает из теплых ящиков и деаэратора и подается турбопитательными насосами по двум каналам в напорную и сливную камеры реактора. На а/л «Гаймыр», «50 лет Победы» и а/л «Севморпуть» проливка производится специальными проливочными насосами (Н_{пр}) с возможностью подключения резервных питательных насосов (РПН) — рис. 3 б.

Дальнейшее развитие системы второго уровня защиты получили в последующих проектах РУ плавучих объектов с ЯЭУ (ПЭБ «Академик Ломоносов» и атомный ледокол нового поколения ЛК-60 проекта 22220) [9]. Здесь активно используются пассивные подсистемы безопасности. Пассивная подсистема аварийного охлаждения активной зоны РУ работает без потребления энергии извне и ограничения по времени с любого уровня мощности при ЕЦ теплоносителя по всем контурам. При этом решаются технические задачи поддержания запаса воды в активной зоне при высоком и низком давлении.

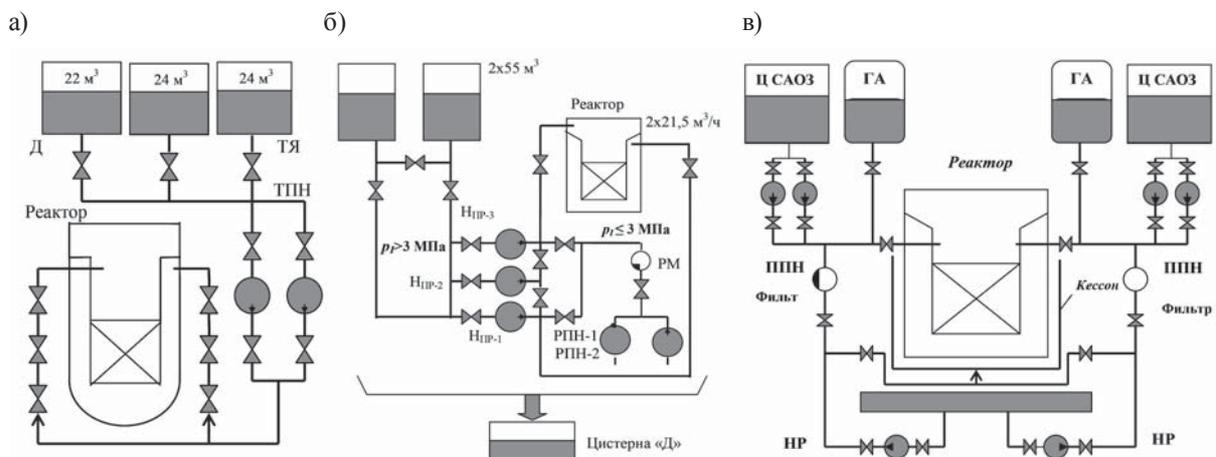


Рис. 3. Развитие системы аварийное охлаждение активной зоны при разгерметизации первого контура:

- а — пассивная подсистема высокого давления САОЗ с гидроаккумуляторами;
- б — активная система аварийного впрыска во всем диапазоне давлений — подсистема высокого давления САОЗ с ППН;
- в — активная система аварийного впрыска при низком давлении — подсистема низкого давления САОЗ с насосом рециркуляции

На ПЭБ «Академик Ломоносов» используются активные и пассивные системы аварийного охлаждения зоны (САОЗ) — рис. 3 в, объем воды в которых составляет $2 \times 10 \text{ м}^3$, что позволяет обеспечить подачу воды в реактор с помощью подпиточных насосов (ППН) в течение не менее 8 ч — активный канал. Объем воды в гидроаккумуляторах (ГА) составляет $2 \times 4 \text{ м}^3$, что обеспечивает поддержание активной зоны реактора под заливом теплоносителя еще в течение не менее 1,4 ч — пассивный канал (используется гидростатический напор воды в гидроаккумуляторе). На всасывание насоса рециркуляции (НР) поступает вода с днища реакторного помещения, охлажденная на стенках бака металловодной защиты при работе третьего контура, или из барботажной цистерны. Подключение насоса рециркуляции персоналом позволяет обеспечить дальнейшее охлаждение активной зоны. В проекте РУ ПЭБ предусматривается возможное перетекание проектной аварии (разгерметизация первого контура) в запроектную (не обрабатывает система аварийного охлаждения активной зоны).

В развитие подходов к проектированию защитных систем второго уровня также наблюдается стремление к сочетанию активных и пассивных систем проливки. При этом первым техническим решением было использование для принудительной подачи воды в реактор штатных турбопитательных насосов, что не требует установки дополнительного оборудования. Однако последующие проекты предполагают использование специальных проливочных насосов, что обеспечивает автономность проливки. Дальнейшего повышения надежности обработки защитных систем второго уровня добиваются за счет сочетания активной проливки с использованием штатных подпиточных насосов и пассивной подачи воды в реактор из гидроаккумуляторов под действием гидростатического напора.

Для снижения давления в защитной оболочке используются защитные системы третьего уровня (3З на рис. 1). Для атомных ледоколов была спроектирована система снижения давления в защитной оболочке (СОЗО), которая обеспечивает подачу распыленного дистиллята в аппаратное помещение, а также слив воды из аппаратной в помещение цистерн жидких радиоактивных отходов. Снижение давления в защитной оболочке осуществляется за счет конденсации пара на водяных струях системы орошения защитной оболочки, а также на холодных поверхностях оборудования. Напорный трубопровод (оросительное кольцо) с форсунками системы СОЗО установлен в верхней части аппаратного помещения — рис. 4 а. Специальные форсунки орошают баллоны газа высокого давления. Недостатком данной системы является наличие стравливающего клапана АС-I, который при недопустимом повышении давления в ЗО автоматически сбрасывает парогазовую смесь (ПГС) в атмосферу.

На алв «Севморпуть» используется барботажная система с подключением дополнительных объемов (специального коффердама). При повышении давления в защитной оболочке срабатывают предохранительные заглушки, разделяющие оболочку и специальный коффердам. Далее пароводяная смесь (ПВС) поступает в барботажную цистерну. Таким образом, выброса ПВС в окружающую среду не происходит.

В отличие от атомных судов система снижения аварийного давления (ССАД) в защитной оболочке, установленная на ПЭБ «Академик Ломоносов», является системой пассивного принципа действия [10], что повышает ее надежность — рис. 4 б. Здесь конденсация пара происходит на поверхности секций теплообменника (ТО) ССАД, расположенного внутри ЗО. Отданная при конденсации теплота отводится охлаждающей водой, циркулирующей по внутреннему водяному контуру, через ЦАР в атмосферу за счет нагрева и выпаривания воды ЦАР. Образовавшийся на поверхности ТО конденсат стекает на пол аппаратного помещения, собирается на поверхностях конденсатосборников и отводится в систему заполнения кессона реактора водой. Циркуляция воздуха через ТО в режиме снижения давления — естественная.

В развитии защитных систем третьего уровня также наблюдается тенденция к переходу от активных к пассивным системам безопасности. В проекте ПЭБ используется естественная циркуляция воды ЦАР и естественная циркуляция воздуха через теплообменник. Для снижения давления в реакторном помещении установлена барботажная емкость. Кроме того, в новых проектах не допускается сброс ПГС в окружающую среду.

На рис. 4 показано развитие систем снижения давления в ЗО плавучих ядерных объектов.

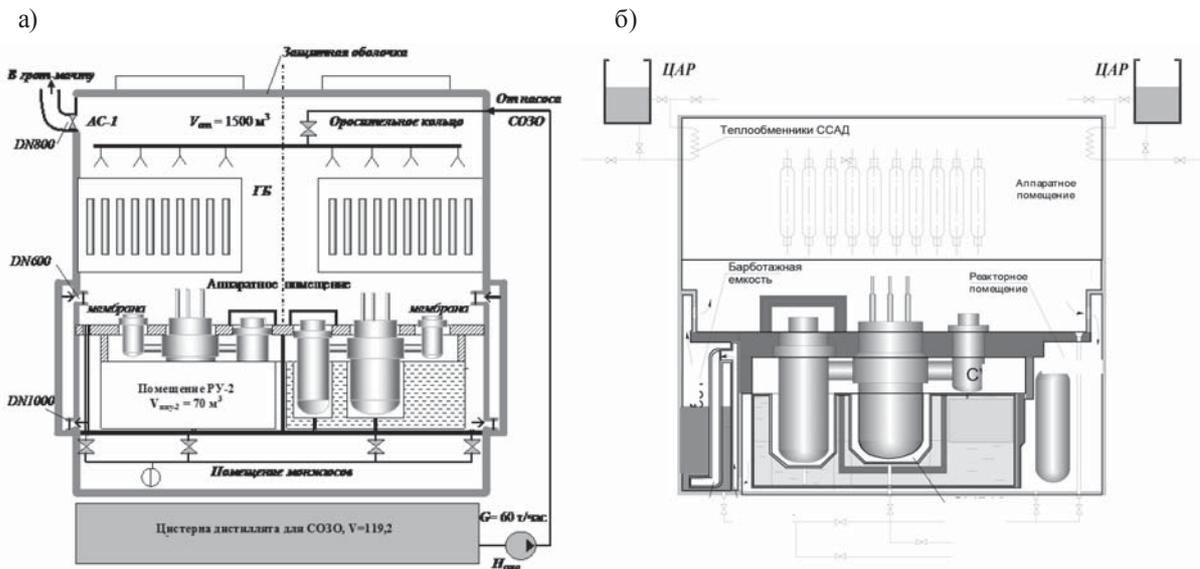


Рис. 4. Развитие систем снижения давления в ЗО:

- а — принципиальная схема системы орошения защитной оболочки атомных ледоколов;
 б — принципиальная схема ССАД ПЭБ

Если система аварийного охлаждения активной зоны не отработала, то развивается более тяжелая авария с образованием водорода в результате термохимических взаимодействий материалов активной зоны и других внутриреакторных конструкций с паром. Генерация водорода начинается примерно через 3 ч после начала аварии. При этом основным источником водорода является процесс окисления паром циркония, он составляет ~ 53 . Около 40 % водорода получается при взаимодействии пара со сталью и 7 % с карбидом бора.

На построенных атомных судах не было предусмотрено средств для управления водородной обстановкой. Однако современные требования к плавучим объектам с ЯУ ужесточены и требуют введения на проектах средств управления водородной обстановкой в тяжелой аварии — защитных средств четвертого уровня (4З — рис. 1).

На строящемся ПЭБ «Академик Ломоносов» управление водородной обстановкой осуществляется следующими способами [6]:

- вводится система каталитического дожигания водорода в помещениях ЗО, которая обеспечивает каталитическую рекомбинацию водорода и кислорода и снижение концентраций гремучей смеси в помещениях до безопасных пределов;
- нейтрализуется атмосфера ЗО путем снижения концентрации кислорода до 5 ... 10 % объема путем каталитического сжигания кислорода;
- нейтрализуется атмосфера ЗО за счет повышения концентрации азота.

Система заполнения кессона реактора водой является средством управления тяжелой за-проектной аварией и предназначена для защиты корпуса реактора от проплавления в авариях, связанных с перегревом и расплавлением активной зоны. Данная система, впервые используемая на ПЭБ «Академик Ломоносов», вводится при потере теплоносителя и невозможности подать воду в реактор, когда все возможные средства подачи воды на охлаждение активной зоны исчерпаны и происходит перегрев топлива. При этом производится монтаж съемного трубопровода. Система обеспечивает охлаждение нижней части корпуса реактора. Кроме этого она выполняет локализующие функции безопасности. В состав системы входят конденсатор-борник, четыре стока с механическими фильтрами, трубопроводы с арматурой и средства измерения.

Обобщая проведенный в данной работе анализ развития систем безопасности, предотвращающих выход теплоносителя в окружающую среду на плавучих объектах с ядерной установкой, а также материалы ранее опубликованных работ [11] – [13], можно сделать следующие выводы:

1. Совершенствование систем безопасности идет по принципу увеличения их надежности и продолжительности работы. При этом предпочтение отдается пассивным системам безопасности и, там где необходимо, сочетанию активных и пассивных средств безопасности.

2. Проектирование новых систем безопасности связано с недопущением аварийных ситуаций, которые уже произошли на действующих плавучих объектах с ЯУ, и ужесточением международных и российских требований к безопасности ядерных объектов.

3. Безопасность ядерного объекта целесообразно повышать не за счет наращивания количества новых систем, а за счет полифункциональности имеющихся или вновь вводимых систем безопасности.

Список литературы

1. *Королев В. И.* Особенности развития аварии на АЭС «Фукусима-1» / В. И. Королев, А. Ю. Ластовцев // Науч.-техн. конф. проф.-преп. сост., науч. сотр. и курсантов: тез. докл. — Ч. 2. — СПб: Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2012. — С. 60–62.

2. *Королев В. И.* К вопросу об аварии на АЭС «Фукусима» / В. И. Королев // Науч.-техн. конф. проф.-преп. сост., науч. сотр. и курсантов: тез. докл. — СПб: Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2011. — С. 355–357.

3. Правила ядерной безопасности ядерных энергетических установок судов (ПБЯ-С) НП-029-01. — М.: Госатомнадзор России, 2001. — 65 с.

4. *Королев В. И.* Организация циркуляции сред для нормального и аварийного охлаждения активной зоны атомных плавучих объектов: учеб. пособие / В. И. Королев, А. Ю. Ластовцев, В. А. Малышев. — СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2012. — 140 с.

5. *Королев В. И.* Судовые ядерные паропроизводящие установки: учеб.-метод. пособие к курсовому и дипломному проектированию / В. И. Королев, А. Ю. Ластовцев. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2013. — 132 с.

6. *Королев В. И.* Водородная безопасность на атомных ПЭБ / В. И. Королев // Науч.-техн. конф. проф.-преп. сост., науч. сотр. и курсантов: тез. докл. — СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2011. — С. 358–359.

7. Правила классификации и постройки атомных судов и плавучих сооружений. — СПб.: Российской морской регистр судоходства, 2008. — 133 с.

8. *Королев В. И.* Изменение давления в главном паропроводе и за питательными насосами ЯЭУ атомного ледокола при маневрировании / В. И. Королев // Сб. науч. тр. проф.-преп. сост. Государств. ун-та морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2014. — С. 81–85.

9. *Королев В. И.* Развитие систем аварийного охлаждения активной зоны в проекте атомного плавучего энергоблока / В. И. Королев // Науч.-техн. конф. проф.-преп. сост., науч. сотр. и курсантов: тез. докл. — СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2011. — С. 364–367.

10. *Королев В. И.* Пассивная система снижения аварийного давления в защитной оболочке плавучего энергоблока ПАТЭС «Академик Ломоносов» / В. И. Королев // Сб. науч. тр. проф.-преп. сост. Государств. ун-та морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова — СПб: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2014. — С. 85–90.

11. *Королев В. И.* Планомерное повышение безопасности атомных ледоколов — актуальное требование нашего времени / В. И. Королев, А. Ю. Ластовцев // Научно-технический сборник Российского морского Регистра судоходства. — 2014. — Декабрь. — № 37. — С. 35–38.

12. Королев В. И. Тенденции в развитии систем безопасности на плавучих объектах с ЯЭУ / В. И. Королев, А. Ю. Ластовцев, Д. А. Барышников // Науч.-техн. конф. проф.-преп. сост., науч. сотр. и курсантов: тез. докл. — Ч. 2. — СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2012. — С. 65–67.

13. Королев В. И. Технические решения по недопущению выход теплоносителя в окружающую среду на Российских плавучих объектах с ЯЭУ / В. И. Королев, А. Ю. Ластовцев // Науч.-техн. конф. проф.-преп. сост., науч. сотр. и курсантов: тез. докл. — Ч. 2. — СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2012. — С. 63–65.

УДК 629.543+ 62-621.2

И. В. Чепалис,
асп.

ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ ГАЗОДИЗЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЕСТЕСТВЕННО ИСПАРИВШЕГОСЯ ГРУЗА МЕТАНОВОЗОВ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА

PROBLEMS OF STABLE OPERATION OF DUAL FUEL ENGINES BY USING NATURAL BOIL-OFF GAS AS FUEL ON LNG CARRIERS

Рассмотрен один из эффективных методов утилизации испаряющегося груза метановозов — использование его в качестве топлива для газодизельного электрического пропульсивного комплекса. Ввиду чувствительности двигателей пропульсивного комплекса к качеству топлива, необходимо прогнозирование их устойчивой работы, что определяет надежность утилизации паров груза и стабилизацию давления в грузовых танках. Обоснованы критерии качества газа и их допустимые пределы, прояснены причины отказов газодизелей при содержании значительного количества азота в естественно испарившемся грузе. Объяснены проблемы смазки газодизелей при компенсации недостающей мощности за счет сжигания остаточных и дистиллятных сортов топлива в газодизелях. Выбран критерий оценки баланса испарения/потребления газа. Представлены качественные зависимости баланса теплоты от состава испаряющегося груза при изменении суточного коэффициента испарения для метановоза объемом грузовых танков 155000 м³.

One of the efficient methods of boil-off gas treatment - its usage as a fuel for dual fuel diesel electric propulsion of LNG carrier was reviewed. Because of dual fuel engines are sensitive to gas fuel quality, forecast of stable operation is required, this defines reliable utilization of boil-off gas and cargo tanks pressure stabilization. Gas quality criteria and permissible range were grounded; dual fuel engine failures due to high nitrogen content in boil-off gas were explained. Lubrication problems of dual fuel engines due to power compensation by using heavy fuel oil and marine diesel oil as a fuel were explained. Criterion for evaluation balance of evaporated/consumed gas was chosen. Quality graphs of heat balance and boil-off gas composition by varying boil-off rate for LNG carriers with a cargo tank capacity of 155,000 m³ were showed.

Ключевые слова: сжиженный природный газ (СПГ), метановоз, газодизельный электрический пропульсивный комплекс, низшая теплота сгорания, естественно испарившийся груз (ЕИГ).

Key words: liquefied natural gas (LNG), liquefied natural gas carrier (LNGC), dual fuel diesel electric (DFDE), inferior calorific value, natural boil-off gas.



ЭФФЕКТИВНЫМ методом стабилизации давления в грузовых танках метановозов является использование в энергетической установке судна испаряющегося груза в качестве топлива. Изначально метод был реализован на паротурбинной установке (ПТУ), где испарившийся газ сжигался в котле. В 2006 г. газодизельный электрический пропульсивный комплекс был установлен на ряд метановозов компании Gaz de France и BP Shipping [1]. В настоящее время

ситуация рынка сжиженного природного газа (СПГ) представляет собой рост спотовых поставок и контрактов длительностью 1–4 года, достигших четверти всех объемов продажи СПГ [2]. В данной ситуации применение газодизельного электрического пропульсивного комплекса (ГДЭПК) на метановозах является наиболее целесообразным, так как обеспечивает экономическую гибкость как в выборе вида топлива, так и в соотношении его расхода. На рис. 1 приведена диаграмма соотношения пропульсивных комплексов существующего и строящегося на период 2014–2018 гг. метановозного флота [3], [14]. Как можно заметить, 70 % строящихся метановозов будет оборудовано ГДЭПК.

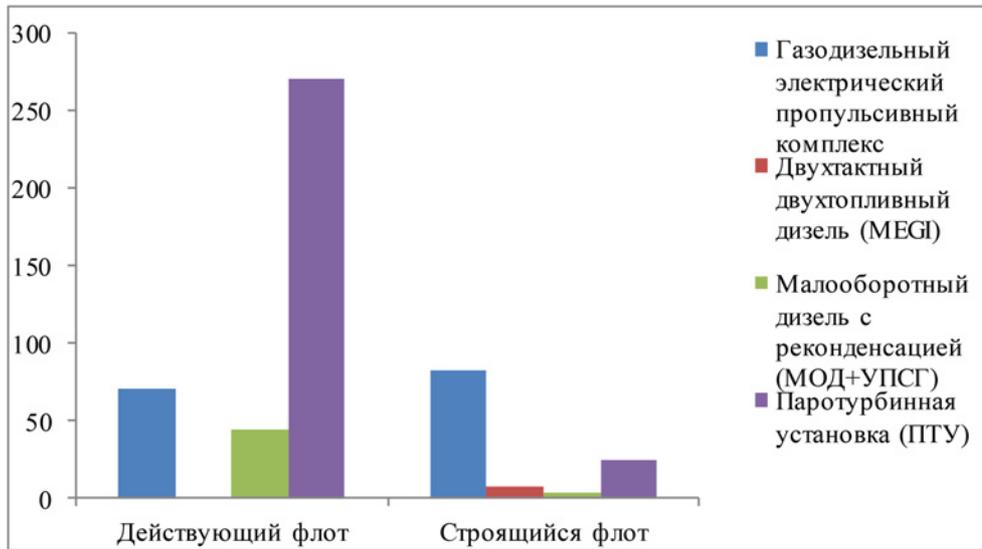


Рис. 1. Диаграмма соотношения пропульсивных комплексов метановозов

На рис. 2 приведена типичная принципиальная схема ГДЭПК метановоза стандартного размера (155000 м³), откуда видно, что основными элементами данного комплекса являются газодизели, генераторы, трансформаторы, инверторы и электродвигатели постоянного тока, непосредственно передающие крутящий момент на гребной винт.

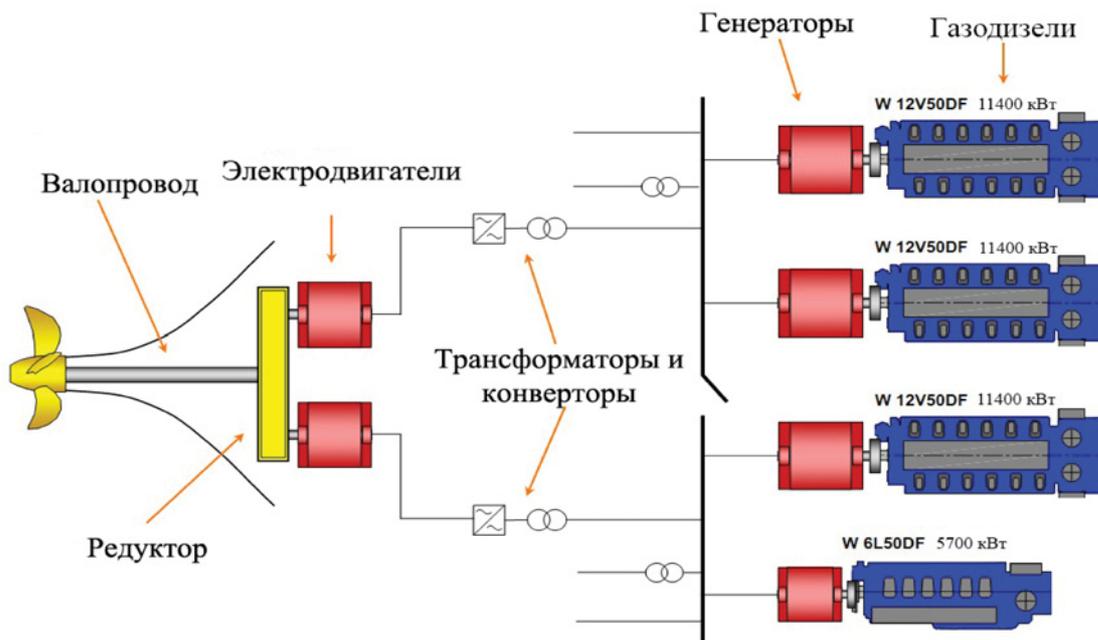


Рис. 2. Принципиальная схема газодизельного электрического пропульсивного комплекса

К преимуществам ГДЭПК относятся следующие:

- полная независимость числа первичных дизелей от числа винтов и возможность работы любых главных дизель-генераторов (ДГ) на любой винт;
- способность к саморегулированию по крутящему моменту при изменяющемся сопротивлении движению судна;
- удобство осуществления парциальной работы, что повышает экономичность на малых и средних ходах судна;
- использование ДГ для удовлетворения всех нужд судна в электроэнергии [4];
- ремонтпригодность двигателей без нарушения режима движения судна.

Регулирование вырабатываемой мощности электростанции происходит ступенчато, посредством пуска/остановки необходимого количества ДГ, в зависимости от нагрузки главного распределительного щита. При оптимальном распределении нагрузки между генераторами, первичные двигатели (газодизели) работают на номинальном режиме с максимальным КПД и минимальным удельным расходом топлива.

Опыт эксплуатации метановозов с ГДЭПК судоходной компанией «GDF Suez» отражен в [5]. Отмечается, что после погрузки молярная доля азота в естественно испарившемся грузе (ЕИГ) достигала $x_{N_2} \approx 30\%$. По этой причине, во избежание пропуска воспламенения в цилиндрах, давление газа и длительность открытия газового впускного клапана были увеличены для обеспечения достаточного количества метана в цилиндре. Основными условиями устойчивой работы газодизеля является обеспечение газоздушной смеси в концентрационных пределах воспламенения и избежание режима детонационного горения смеси [6].

Ввиду особенностей газодизельного цикла, двигатели комплекса чувствительны к качеству газового топлива, состав и объемы которого непостоянны на различных фазах рейса. Прогнозирование устойчивой работы газодизелей определяет надежность использования ЕИГ в качестве топлива как метода стабилизации давления в грузовых танках. Необходимо обосновать критерии качества газа, их допустимые пределы и прояснить физику отказов газодизелей.

В табл. 1 приведены технические характеристики газового топлива для наиболее распространенного на метановозах газодизеля Wärtsilä 50DF.

Таблица 1

Основные технические характеристики газового топлива газодизеля Wärtsilä 50DF

| Параметр | Единицы измерения | Величина |
|---------------------------------------|-------------------|----------|
| Массовая низшая теплота сгорания, min | МДж/кг | 39,5 |
| Метановое число, min | | 80 |
| Содержание метана, min | % | 70 |

Низшая теплота сгорания. Из теплового расчета газодизеля Wärtsilä 12V50DF получен график коэффициента снижения эффективной мощности k_{N_e} в зависимости от давления газа, p_a перед газовым впускным клапаном для различных массовых низших теплотворных способностей газового топлива (рис. 3). Очевидно, что понижение теплотворности испаряющегося груза необходимо компенсировать повышением давления газа перед впускным клапаном газодизеля. Однако такого рода повышение допустимо до определенного критического значения, определяемого двумя ограничениями: максимальным давлением компрессора грузовых паров, которое составляет 5,5 кгс/см², и минимальным содержанием метана.

Метановое число определяет детонационную стойкость газового топлива. Ввиду того, что состав ЕИГ представляет собой метано-азотную смесь, метановое число $MN \geq 80$.

Содержание метана, min. Газовая смесь, поступающая в цилиндр газодизеля, при степени сжатия $\epsilon = 12$ характеризуется значительным по величине коэффициентом избытка воздуха α , равным для смеси газа и воздуха 1,4–2,2. Выбор меньше указанной величины может привести к

самовоспламенению смеси в процессе сжатия [7]. Понижение содержания метана в газозвушной смеси приведет к росту коэффициента избытка воздуха, так как количество воздуха для сгорания остается постоянным. Ввиду этого при некотором минимально критическом содержании метана в ЕИГ произойдет пропуск воспламенения в цилиндре. Это обусловлено тем, что снижение содержания метана выведет смесь за нижний концентрационный предел воспламенения.

Концентрационный диапазон воспламенения метана при давлении в конце сжатия $p_c = 110$ кгс/см² составляет 5,64–42 % [8]. При этом предельные значения коэффициентов избытка воздуха составляют 1,74 и 0,143 соответственно. ΔABC — множество точек, характеризующих допустимый состав метановоздушной смеси в цилиндре газодизеля (рис. 4). Ребра треугольника — ограничительные прямые: AC — нижний концентрационный предел; BC — минимально допустимый коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,4$; AB — соотношение $N_2/O_2 = 3,78$ в наддувочном воздухе. Если допустить, что двигатель работает на смеси $CH_4 = 7,14$ %, $O_2 = 19,51$ %, $N_2 = 73,35$ %, $\alpha = 1,4$ (точка B), то повышение молярной доли азота x_{N_2} в ЕИГ будет сдвигать состав смеси к точке D , пока не выведет смесь за нижний концентрационный предел воспламенения, что приведет к пропуску воспламенения в цилиндре.

Разбавление горючей смеси инертными примесями сужает область воспламенения вплоть до превращения смеси в невоспламеняющуюся [9]. В этой ситуации система автоматического управления произведет автоматическое переключение газодизелей на резервную топливную систему с использованием жидкого топлива (остаточного (HFO) или дистиллятного (MDO)). Это означает, что при $x_{CH_4} < 70$ % использование ЕИГ в качестве топлива не может быть применено в качестве метода стабилизации давления в грузовых танках. В данном случае его необходимо утилизировать другим методом (реконденсация, сжигание в топочном устройстве, вентиляция). Производить это необходимо до тех пор, пока молярная доля азота в парах груза не станет $x_{N_2} < 30$ %.

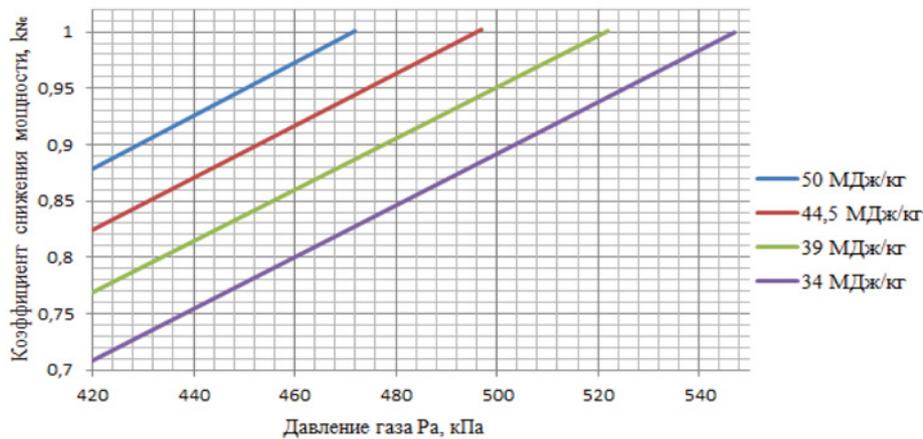


Рис. 3. Зависимость коэффициента снижения эффективной мощности газодизеля от давления газа с различной теплотворностью

Перевод газодизелей на остаточное топливо (HFO) влечет за собой не только проблемы утилизации ЕИГ, но и проблему смазки двигателя. Согласно рекомендациям изготовителя, в двигателе можно использовать топливо остаточного сорта вплоть до RMK 700 (ISO 8215:2005), что означает содержание серы до 4,5 %. Нейтрализация воздействия образующейся в цилиндрах серной кислоты и продуктов окисления самого масла достигается путем введения в него присадок, придающих ему щелочные свойства. Эффективность воздействия присадок определяется щелочным числом, выраженным в мг КОН/г масла [10]. По данным «Wärtsilä», требования к щелочному числу смазочного масла лежат в пределах 6–12 для работы двигателя на газе, 12–20 для работы на дистиллятном топливе, 30–55 для работы на остаточном топливе. Ввиду того, что в тронковых дизелях смазка втулки происходит разбрызгиванием, при переходе двигателя на топливо с более высоким содержанием серы требуется замена масла в картере на масло с соответствующим щелочным числом.

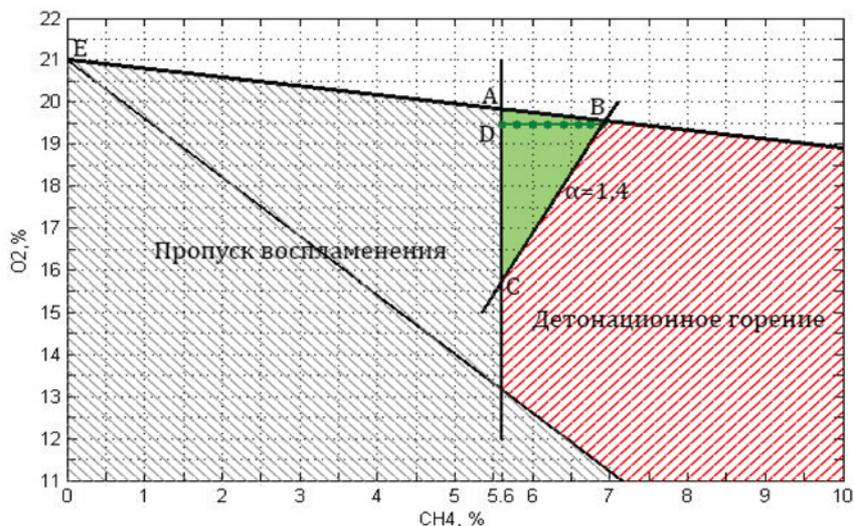


Рис. 4. Допустимый состав газовой смеси в концентрационном диапазоне воспламенения метана

Смазочное масло для работы на газе совместимо только для работы двигателя на топливе с содержанием серы $\leq 1\%$. В противном случае при взаимодействии масла с топливом на стенках втулки формируются отложения смолисто-асфальтовых веществ, карбенов и карбоидов в виде лаков и нагаров. Эти отложения остаются в раскаленном состоянии, что может привести к преждевременному зажиганию газовой смеси и детонационному режиму горения в цилиндре при переводе двигателя на газ.

При переводе двигателя на газ необходимо осуществить замену смазочного масла на соответствующее. Более того, для выгорания отложений, образованных при работе газодизеля на остаточном топливе (HFO), необходимо, чтобы двигатель проработал не менее двух часов на дистиллятном топливе (MDO) на нагрузке $\geq 60\%$ от номинальной.

Для оценки устойчивой работы комплекса необходимо обладать информацией о количестве и качестве ЕИГ, требуемой от главного распределительного щита мощности, т. е. о некотором балансе/дисбалансе этих величин. Наиболее информативной физической величиной в данном случае является количество теплоты Q , Дж. Количество теплоты ЕИГ характеризует как суточный объем испарившегося груза, так и его теплотворность, которая косвенным образом информирует о составе паров груза:

$$Q_{\text{ЕИГ}} = e \cdot V_{100\%} \cdot l \cdot \rho_{\text{СПГ}} \cdot \hat{H}, \quad (1)$$

где e — суточный коэффициент испарения СПГ; $V_{100\%}$ — объем грузовых танков; l — коэффициент заполнения танков; $\rho_{\text{СПГ}}$ — плотность груза; \hat{H} — массовая низшая теплота сгорания груза.

Требуемое количество теплоты пропорционально мощности и удельному расходу газового топлива при определенной нагрузке двигателя:

$$Q_{\text{треб}} = N_e \cdot g_e \cdot 24. \quad (2)$$

В зависимости от режима хода судна и погодных условий потребляемая мощность будет варьироваться. Проведем анализ на примере метановоза стандартного размера.

Основные характеристики:

- объем грузовых танков $V_{100\%} = 155000 \text{ м}^3$;
- мощность электростанции: 39,9 МВт ($3 \times 11400 \text{ кВт} + 5700 \text{ кВт}$);
- грузовая система MARK III, суточный коэффициент испарения груза $e = 0,0015$;

Основные электропотребители:

- главные электродвигатели 25,3 МВт (2×12650 кВт);
- компрессор газового топочного устройства (ГТУ) 855 кВт;
- компрессор подачи ЕИГ к газодизелям 769 кВт;
- насосы забортной воды 110 кВт;
- насос охлаждения низкотемпературного контура 110 кВт;

Потребляемая мощность варьируется в зависимости от режима движения метановоза (табл. 2) [11].

Таблица 2

Потребляемая мощность для различных фаз рейса

| Стадия рейса | Потребляемая мощность |
|---|-----------------------|
| Переход в грузу или балласте (спокойное море) | 32 МВт |
| Переход (бурное море) | 27 МВт |
| Маневрирование | 14 МВт |
| Стоянка на якорю, дрейф | 1,5 МВт |
| Погрузка | 4 МВт |
| Выгрузка | 7,5 МВт |

Для количественной оценки дисбаланса теплоты рассмотрим случай, когда метановоз совершил погрузку и вышел на эксплуатационную скорость 18 уз. При этом примем, что корпус судна чистый, высота волны 1 м, скорость ветра 1м/с. При таких условиях потребляемая мощность составит 27 МВт. Для выработки мощности 27 МВт в параллельной работе необходимы три генератора 12V50DF, при этом нагрузка каждого из них будет составлять $Load = \frac{27000 \text{ кВт}}{3 \cdot 11700 \text{ кВт}} \cdot 100 \% = 77 \%$.

Для режима 77 %-й нагрузки удельный расход газового топлива $g_e = 7390 \frac{\text{кДж}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$.

$$Q_{\text{треб}} = \frac{27000 \text{ кВт} \cdot 7390 \frac{\text{кДж}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} \cdot 24 \text{ ч}}{1000} = 4788720 \frac{\text{МДж}}{\text{сут}}$$

Примем суточный коэффициент испарения груза, согласно заявленной производителем «Gaztransport» грузовой системы MARK-III, $e = 0,0015$. Также допустим, что пары груза будут содержать исключительно метан. Тогда массовая низшая теплота сгорания составит [12]:

$$\hat{H}^0 [0^\circ \text{C}] = \sum_{j=1}^N \left(x_j \cdot \frac{M_j}{M} \right) \cdot \hat{H}_j^0 (0^\circ \text{C}); \quad (3)$$

$$\hat{H}_{\text{CH}_4}^0 [0^\circ \text{C}] = \frac{802820 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}}{16,043 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}} = 50,042 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$$

Соответственно

$$Q_{\text{исп}} = 0,0015 \text{ сут}^{-1} \cdot 155000 \text{ м}^3 \cdot 0,98 \cdot 459,4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 50,041 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}} = 5238085,99 \frac{\text{МДж}}{\text{сут}}$$

Дисбаланс испарившегося и требуемого количества теплоты будет равен их разности:

$$\Delta Q = Q_{\text{исп}} - Q_{\text{треб}}; \quad (4)$$

$$\Delta Q = 5238085,99 \frac{\text{МДж}}{\text{сут}} - 4788720 \frac{\text{МДж}}{\text{сут}} = 449365,99 \frac{\text{МДж}}{\text{сут}}$$

Рассматриваемый случай позволяет дать количественную оценку дисбаланса теплоты для идеальных условий. Однако ΔQ — величина, в которую входят времязависимые переменные. Заявленный производителем суточный коэффициент испарения СПГ, $e = 0,0015$ является величиной ожидаемой, он зависит от ряда факторов, таких как температура СПГ при погрузке, состав СПГ, волнение моря, температура окружающей среды, состояние корпуса и т. д. Массовая низшая теплота сгорания груза \dot{H} не может быть принята постоянной величиной. Начиная от погрузки на ожижительном заводе и заканчивая выгрузкой на приемном терминале, ЕИГ представляет собой смесь наиболее низкокипящих и летучих элементов СПГ — азота и метана. Теплопритоки из окружающей среды приводят сначала к испарению азота, как самого низкокипящего компонента, а затем — метана [13]. Этот факт оказывает существенное влияние на теплотворность ЕИГ, происходит уменьшение низшей теплоты сгорания.

На рис. 5 приведен график зависимостей $\Delta Q(\dot{H})$ для различных значений коэффициента испарения e . Нетрудно заметить, что отклонение коэффициента испарения на $0,0002$ оказывает весомое влияние на ΔQ . Если $\Delta Q > 0$, то это количество теплоты необходимо утилизировать другим методом (реконденсацией, сжиганием в ГТУ, вентиляцией), $\Delta Q < 0$ — необходим пуск резервного генератора, работающего на НФО, так как фрахтователь зачастую не позволяет принудительно испарять груз для компенсации необходимого количества потребляемой энергии.

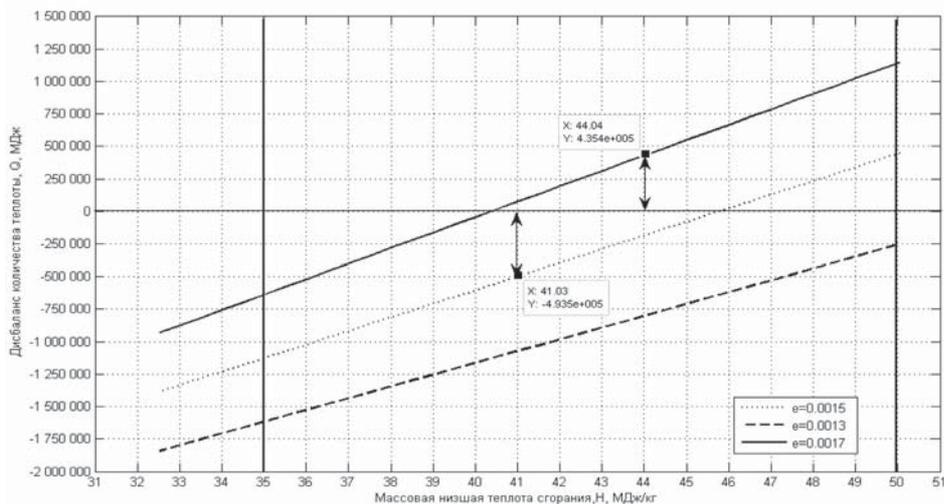


Рис. 5. Зависимости $\Delta Q(\dot{H})$ для различных значений коэффициента испарения e

Из графика видно, что при коэффициенте испарения $e=0,0017$ и $\dot{H} = 44$ МДж/кг (содержание $N_2 = 12\%$), $\Delta Q = 435400$ МДж. При данных характеристиках испаряющегося груза дополнительной утилизации подлежат 9,9 т/сут СПГ, а при коэффициенте испарения $e=0,0015$, $\dot{H} = 46$ МДж/кг, что соответствует $x_{N_2} = 8\%$, количество теплоты испарившегося газа и требуемое количество теплоты равны: $Q_{исп} = Q_{треб}$.

Дальнейшее увеличение содержания азота в ЕИГ при $e = 0,0015$ приведет к уменьшению теплотворности газового топлива, что, в свою очередь, снизит эффективную мощность газодизелей. Соответственно потребуется компенсировать данный дисбаланс теплоты путем введения в параллельную работу резервного генератора на НФО. В резерве находится генератор 6L50DF мощностью 5700 кВт, которая является максимальной для компенсации резервного генератора. В случае превышения данной мощности потребуется перевод одного из основных генераторов на НФО.

Таким образом, на основании ранее изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Оценка баланса испарение — потребление газа посредством количества теплоты позволяет анализировать эффективность утилизации испаряющегося груза.
2. Чувствительность газодизелей к качеству газа требует прогноза информации об ЕИГ. В случае недостатка теплоты ЕИГ необходима компенсация за счет сжигания НФО, что, порой, представ-

ляет трудности в связи со смазкой двигателей. В случае переизбытка ЕИГ или отказа газодизелей придется прибегнуть к нерациональной утилизации паров груза посредством ГТУ или вентиляции.

3. Для количественной оценки утилизации испаряющегося груза необходима информация о зависимостях количества теплоты ЕИГ от времени, что позволит анализировать динамику изменения баланса теплоты.

Список литературы

1. Чепалис И. В. Повторное сжижение газов, как метод стабилизации давления в грузовых танках метановозов / И. В. Чепалис, Н. А. Козьминых // Судовые энергетические установки. — 2014. — № 33. — С. 41–48.
2. Выгон Г. В. Развитие мирового рынка СПГ: вызовы и возможности для России / Г. В. Выгон, М. Белова // Энергетический центр Московской школы управления СКОЛКОВО, 2013. — С. 2.
3. The world's newest LNG carriers // LNG shipping news. — 2014. — P. 6–7.
4. Пахомов Ю. А. Судовые энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания / Ю. А. Пахомов. — М.: ТрансЛит, 2007. — 528 с.
5. Jean-François Castel, Jérémie Leriche. Feedback on the operation of the dual fuel diesel electric propulsion on LNG carriers: impact of gas fuel quality on propulsion efficiency.
6. Arto Sarvi, Jorma Jokiniemi, Jussi Lyyränen, Ron Zevenhoven. Combustion in dual fuel gas engines. The effect of LCV-gases and detonation sensitivity // International Flame Research Foundation. — Naantali, Finland. — 2009. — 17 p.
7. Ваншейдт В. А. Дизели / В. А. Ваншейдт. — Л.: Машиностроение, 1964. — 600 с.
8. Фастовский В. Г. Метан / В. Г. Фастовский. — М.: Гостолтехиздат, 1947. — 156 с.
9. Талантов А. Е. Основы теории горения. / А. Е. Талантов. — Казань: Ротапринт КАИ, 1975. — 253 с.
10. Возницкий И. В. Практические рекомендации по смазке судовых дизелей / И. В. Возницкий. — СПб.: Моркнига, 2007. — 64 с.
11. Michael Wenninger, Sokrates Tolgos. LNG carrier power Flexibility and Maintainability with 51/60 DF electric propulsion MAN Diesel SE. Augsburg, Germany, 2008. — 22 с.
12. ГОСТ 31369-2008. Газ природный. Вычисление теплоты сгорания, плотности, относительной плотности и числа Воббе на основе компонентного состава. — М.: Стандартинформ, 2009. — 59 с.
13. Чепалис И. В. Анализ последствий и критичности отказов установок повторного сжижения газов судов-метановозов / И. В. Чепалис, Н. А. Козьминых // Технические газы. — 2014. — № 3. — С. 38–42.
14. Костылев И. И. Зарубежное судостроение. Состояние и тенденции / И. И. Костылев, М. К. Овсянников // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 3 (22). — С. 66–70.

УДК 662.76.004.14:621.436

Л. А. Хлюпин,
канд. техн. наук, доц.

СХЕМЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КАПТИРОВАННОГО ГАЗА ДЛЯ ГАЗОДИЗЕЛЯ

SCHEME OF COOKING CAPTURED GAS FOR GAS-DIESEL ENGINE

Выполнены исследования в обеспечение практической реализации расширения ассортимента газового топлива для газодизелей за счет использования каптированного газа, который в больших объемах

выделяется при горных разработках. Безопасность работы в таких условиях требует дегазации шахт и подъема на поверхность различных смесей природного газа с воздухом, использование которых, например, в газодизельгенераторных установках позволит частично компенсировать затраты электроэнергии на местах горных разработок. Исследована возможность создания установки для имитации каптированного газа вне шахтных условий. В статье представлены варианты принципиальных схем установки для подготовки природного газа и приготовления его смесей с воздухом для стендовых испытаний газодизелей. Многовариантность разработанных схем определяется возможными величинами давления газа на входе, газа и смеси на выходе из установки, а также концентрациями природного газа в воздухе.

Performed research in the practical implementation of the expansion of the gas fuel gas diesel engines through the use of captured gas, which in large quantities from you is when mining. Work safely in such conditions requires degassing of mines and rise to the surface of various mixtures of natural gas with air, the use of which, for example, in gazodiselgeneratornyj installations will partly offset the cost of electricity to mining areas. Investigate the possibility of establishing a simulation captured gas out of coal mine conditions. The article presents ways schematics of the setup for the preparation of natural gas and making it mixes with air for bench testing of gas-diesel engines. The multiplicity of the developed schemes is determined by the possible values of the pressure gas inlet, and gas mixture at the outlet of the installation, as well as concentrations of natural gas in the air.

Ключевые слова: газодизель, каптированный газ, оборудование.
Key words: gas-diesel engine, captured gas, equipment.

II

При разработке принципиальных схем изготовления каптированного газа для газодизелей учтены следующие условия газообеспечения:

- состав газового топлива — природный газ (85 % метана) или смесь (25 % природного газа + воздух) [1];
- давление природного газа на входе в установку может иметь различные значения в соответствии с реальной возможностью подключения ее к городской газопроводной сети: 101–105 кПа (сеть низкого давления), 105–400 кПа (сеть среднего давления), 400–1100 кПа (сеть высокого давления) [2];
- давление газового топлива на выходе из установки поддерживается постоянным в диапазоне 100–400 кПа.

Условные обозначения, принятые при разработке принципиальных схем установки, приведены в следующей таблице [3] – [4].

Условные обозначения, принятые при разработке принципиальных схем установки

| Условное обозначение | Наименование элементов | Условное обозначение | Наименование элементов |
|----------------------|--|----------------------|---|
| | Смеситель С.1, С.2 (отличается рабочим давлением) | | Аккумуляторы АГ, АВ (соответственно газа и воздуха) |
| | Компрессор КГ, КВ (соответственно газа и воздуха) | | Блок настройки |
| | Клапан блокировочный КБл | | Клапаны запорные предохранительные ПЗК _н , ПЗК _в (соответственно низкого и высокого давления) |
| | Редуктор РНД, РВД (соответственно низкого и высокого давления) | | Пропорционизатор П.1, П.2 (отличается рабочим давлением) |

| | | | |
|---|--|---|--------------------------------|
|  | Клапан сбросной предохранительный ПСК _н , ПСК _в (соответственно низкого и высокого давления) |  | Дополнительное сопротивление Д |
|  | Кран |  | Фильтр Ф |
|  | Расходомер Р |  | Выпуск в атмосферу |
|  | Трубопровод основной |  | Трубопровод сигнальный |

Фильтры для очистки газа или воздуха от пыли, ржавчины и других твердых частиц препятствуют преждевременному износу запорных, измерительных и регулирующих устройств. Предохранительный запорный клапан автоматически прекращает подачу газа к потребителям в случае повышения или понижения его давления относительно заданных пределов. Регулятор давления автоматически снижает давление газа, поддерживая его постоянным на заданном уровне независимо от расхода и колебаний давления на входе. Пропорционизатор обеспечивает поддержание постоянного соотношения расходов природного газа и воздуха, поступающих в смеситель при изменении расхода газозвушной смеси, давления в смесителе и давления газа перед пропорционизатором [5] – [6]. Предохранительный сбросной клапан ограничивает давление газа в контролируемой точке газопровода путем сброса его избыточного количества в атмосферу при повышении давления сверх заданного значения, а также защищает газопровод после установки от недопустимого повышения давления газа в случае неплотного запираания прохода предохранительным запорным клапаном при его срабатывании [7]. Клапан блокировочный автоматически прекращает подачу газа в случае отсутствия подачи воздуха к смесителю.

Задача исследования состояла в разработке схемных решений установки, имитирующей шахтный каптированный газ, предназначенный для стендовых испытаний газодизелей. Необходимые расчеты выполнены применительно к газодизелям, создаваемых на базе дизелей типа ЧН22/24 (4-, 6-, 8- и 12-цилиндровые с $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$) и ЧН32/35 (4-, 6- и 8- цилиндровые с $n = 800 \text{ мин}^{-1}$). Мощность газодизелей принята такой же, как и у соответствующих базовых дизелей (2310–3280 кВт на номинальных режимах), в газодизельном цикле диапазон допустимой нагрузки от 25 до 100 % номинальной мощности.

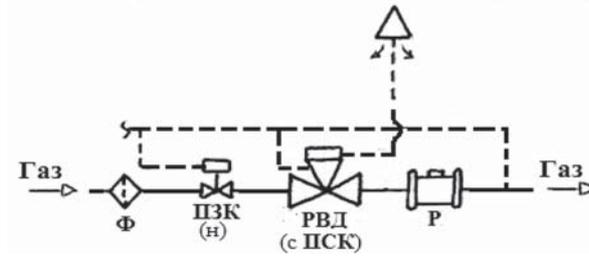
Состав газового топлива: природный газ (85 % метана) или смесь (25 % природного газа с воздухом). Для указанных газодизелей расчетные значения расхода природного газа и смеси изменяются в пределах, соответственно, 48,6–730,5 и 194,4–2922,0 Н·м³/ч [8]. Характерной особенностью эксплуатации такой установки будет переменный по времени режим газопотребления при поддержании постоянного давления на выходе. Для обеспечения стабилизации давления и расхода газового топлива на выходе из установки в случае необходимости следует предусмотреть резервирование газа (при набросе нагрузки газодизеля) и выпуск его избытка на свечу (при сбросе нагрузки газодизеля). Исходя из расходов природного газа и его смесей с воздухом для конкретного газодизеля, можно оценить требуемые объемы аккумуляторов газа и воздуха, а также обеспечить правильный выбор компрессоров, смесителей и другого необходимого оборудования, проходных сечений трубопроводов.

Схемы подготовки природного газа и приготовления его смесей с воздухом во многом определяются величиной давления газа на входе $P_{г.вх}$ и выходе газа $P_{г.вых}$ и смеси $P_{см}$ из установки [9], а также их соотношением [10]. Для каждого из вариантов предложены следующие основные принципиальные схемы установки.

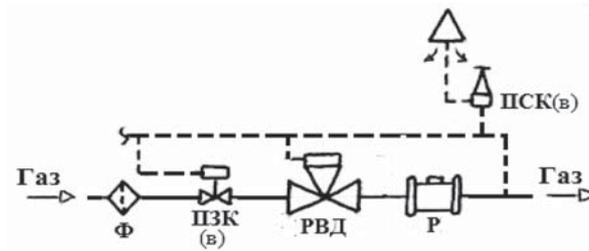
1. Схемы подготовки природного газа

1.1. При $P_{г.вх} > P_{г.вых}$

Вариант 1. $P_{г.вх}$ — давление газа на входе от сети среднего или высокого давления;
 $P_{г.вых}$ — низкое давление газа на выходе.

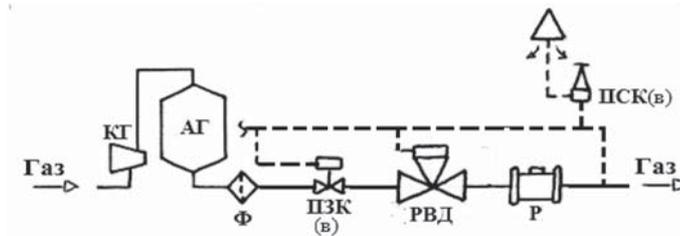


Вариант 2. $P_{г.вх}$ — давление газа на входе от сети среднего или высокого давления;
 $P_{г.вых}$ — среднее давление газа на выходе.



1.2. При $P_{г.вх} \leq P_{г.вых}$

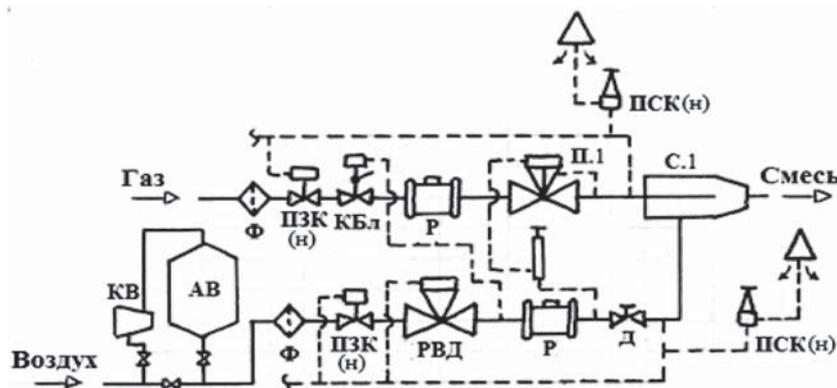
Вариант 3. $P_{г.вх}$ — давление газа на входе от сети среднего давления;
 $P_{г.вых}$ — среднее давление газа на выходе.



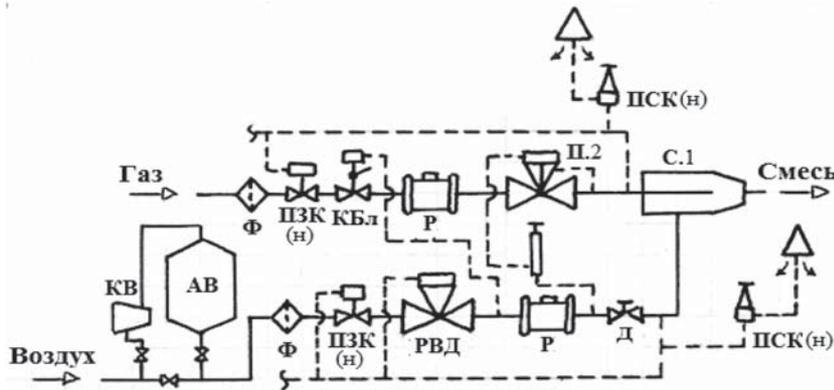
2. Схемы приготовления смеси природного газа с воздухом

2.1. При $P_{г.вх} > P_{см}$

Вариант 1. $P_{г.вх}$ — давление газа на входе от сети среднего давления; $P_{см}$ — низкое давление смеси.

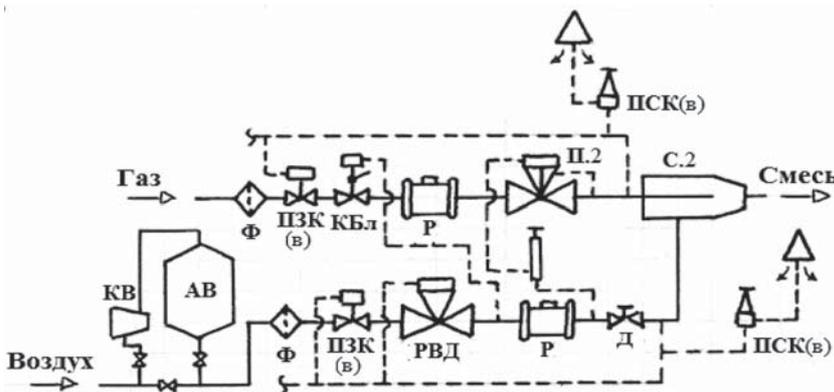


Вариант 2. $P_{г.вх}$ — давление газа на входе от сети высокого давления; $P_{см}$ — низкое давление смеси.



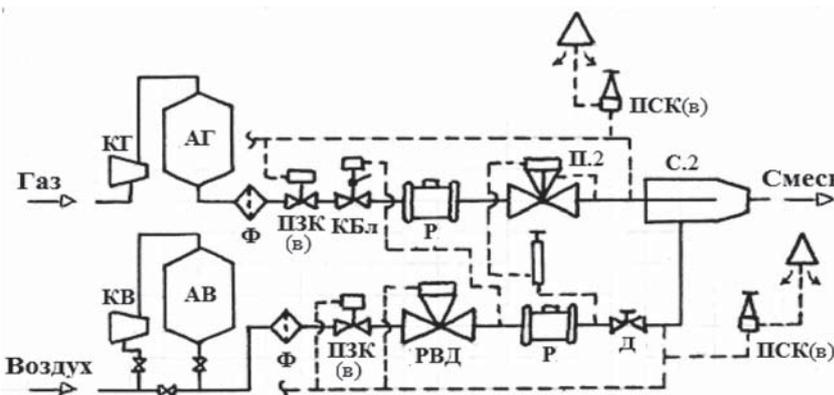
Вариант 3. $P_{г.вх}$ — давление газа на входе от сети высокого давления; $P_{см}$ — среднее давление смеси.

Перепад давления ($\Delta P = P_{г.вх} - P_{см}$) является достаточным для обеспечения требуемого диапазона пропорционирования.



Вариант 4. $P_{г.вх}$ — давление газа на входе от сети среднего и высокого давления; $P_{см}$ — среднее давление смеси.

Перепад давления ($\Delta P = P_{г.вх} - P_{см}$) недостаточен для обеспечения требуемого диапазона пропорционирования.



2.2. При $P_{г.вх} \leq P_{см}$

Вариант 5. $P_{г.вх}$ — давление газа на входе от сети среднего давления; $P_{см}$ — среднее давление смеси.

Принципиальная схема установки соответствует схеме варианта 4.

Следующим этапом исследования явилась разработка методики и выполнение гидравлических расчетов параметров установки для двух технологических линий: одна — для природного газа; другая — для смесей природного газа и воздуха, включающая подачу природного газа к смесителю и подачу воздуха к смесителю. Полученные расчетные данные и рекомендуемые перечни оборудования и арматуры для удобства их практической реализации представлены применительно к каждому из рассматриваемых газодизелей с учетом их реально возможных условий газообеспечения и эксплуатации.

В процессе исследования рекомендовано определять типоразмер пропорционизатора, т.е. его модификацию и диаметр устанавливаемого в нем седла производить исходя из максимального перепада давления газа на тракте смесителя и соответствующего этому давлению максимального расхода газа.

Модификация смесителя определяется величиной его рабочего давления, а типоразмер зависит от производительности. Смесители одной модификации и разного типоразмера отличаются сменными узлами, позволяющими для каждого типоразмера устанавливать оптимальную величину диаметра трактов для газа, воздуха и смеси.

При проектировании систем газоснабжения установок, смесители которых оснащаются пропорционизаторами, необходимо стремиться к максимально возможному давлению в газовой сети перед установкой и к минимальным потерям давления на элементах сети, расположенных между сетью и регулятором, с тем, чтобы не получать чрезмерно большого повышения давления на входе регулятора при понижении расхода газа.

Если надежность работы установки обеспечивается ее гидравлическим расчетом, то оптимальный вариант схемного решения — учетом условий эксплуатационного и (или) экономического характера. Последнее предопределило стремление не только к унификации рекомендуемого основного оборудования и арматуры для установки, но и использования оборудования в виде набора блоков. Комплектация оборудования в пределах блока определится требуемой производительностью установки, а общее количество блоков — исходными требованиями и конкретными условиями размещения установки. В общем виде установка может состоять из блоков:

- приема и фильтрации газа (включает фильтры, ПЗК);
- сжатия и резервирования газа (компрессор, аккумулятор);
- распределения газа (редукторы давления, пропорционизаторы);
- замера расхода газа (расходомеры, ПСК);
- приема и фильтрации воздуха (фильтры, ПЗК);
- сжатия и резервирования воздуха (компрессор, аккумулятор);
- распределения воздуха (редукторы давления);
- замера расхода воздуха (расходомеры, ПСК);
- смешения и выдачи смеси (смесители).

На стадии проектирования схема установки дополняется измерительными приборами и датчиками.

Результаты проведенного исследования показали возможность создания на базе отечественного оборудования установки для обеспечения газодизелей природным газом и его смесью с воздухом, т.е. каптированным газом вне шахтных условий.

Разработаны варианты схемного решения установки, учитывающие диапазон возможного изменения параметров природного газа и воздуха до и после установки.

Разработана методика гидравлического расчета установки для оценки параметров систем, оборудования и арматуры с учетом широкого диапазона изменения производительности установки по природному газу и смеси газа с воздухом, удовлетворяющих все варианты схемного решения.

Результаты выполненных расчетов явились основой для унификации основного оборудования и позволяют реализовать блочный принцип формирования систем установки в зависимости от конкретных условий ее эксплуатации.

Уровень проработок достаточен для выполнения проектных работ по созданию пропорционизаторов и смесителей, требуемых модификаций и типоразмеров, а также в целом установки с укомплектованием ее необходимыми серийно выпускаемыми оборудованием, арматурой и контрольно-измерительными приборами.

Список литературы

1. RU 2306423 C1, МПК E 21 F 7/00. Способ утилизации шахтного метана / А. М. Карасевич (RU), Е. А. Пацков (RU), Н. М. Сторонский (RU), А. А. Фалин (RU). Оpubл. 09.20.2007.
2. РД 34.30.106-95. Руководящие указания по проектированию систем газоснабжения с давлением природного газа до 5,0 МПа для ГТУ и ПГУ ТЭС. — М., 1995.
3. ГОСТ 21.609-83. Газоснабжение. Внутренние устройства. — М.: Изд-во стандартов, 1985.
4. СН и П 2.04.08-87. Газоснабжение. — М.: Изд-во стандартов, 1991.
5. ВНПО «СОЮЗПРОМГАЗ». Пропорционизаторы расходов прямого действия типа ПРПД1 и ПРПД1А: техн. описание и инструкция по эксплуатации. — М.: ПТП ПРОМЭНЕРГОГАЗ, 1977.
6. Хлюпин Л. А. Схемные решения системы питания дизеля каптированным газом / Л. А. Хлюпин // Исследование, проектирование и эксплуатация судовых ДВС: тр. СПбГУВК. — СПб.: Изд-во «ПаркКом», 2006. — С. 256 — 258.
7. ГОСТ 9544-93. Арматура трубопроводная запорная. Нормы герметичности затворов. — М.: Изд-во стандартов, 1993.
8. Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления / Утв. постановлением Госгортехнадзора РФ от 18 марта 2003 г. № 9.
9. ГОСТ Р 54983-2012. Системы газораспределительные. Сети распределения природного газа. Общие требования к эксплуатации. Эксплуатационная документация. — М.: Изд-во стандартов, 2012.
10. Разработка схемно-параметрических решений блочной установки по подготовке газового топлива с различными свойствами: отчет о НИР (заключ.): 92-149 / СПГУВК; рук. Л.А. Хлюпин. — СПб.: СПГУВК, 1993. — 389 с.

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

УДК 629.12.002

В. В. Веселков,
д-р техн. наук, проф.;

М. А. Кобец,
асп.

ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ И РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

PRINCIPLES OF REALIZATION AND DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY OF THE AUTOMATED MANUFACTURING OF HULL CONSTRUCTIONS

В статье обосновывается положение о том, что автоматизация изготовления корпусных конструкций с использованием современных роботов возможна только на основе реализации технологии их сборки из деталей без припусков и управления с соблюдением сварочных зазоров при сборке. В рамках создания технологии предлагается использовать новый подход к формированию электронной модели для аналитической детализации, основанный на топологическом изменении геометрии описанной в чертеже конструкции в объемах общих сварочных деформаций и привязки к формоопределяющим линиям параметров сварных швов. Исключение влияния погрешностей изготовления деталей обшивки с использованием холодной гибки в данной технологии осуществляется за счет полного перехода на сборку конструкций на «каркасе», а для повышения точности деталей судового набора предлагается заменять детали из профильного проката на эквивалентные им детали, вырезаемые из листа машиной термической резки с числовым программным управлением.

The article proves that automation of manufacturing of hull construction using modern robots is only possible through the implementation of technology for their assembly of parts without allowances and compliance management welding gaps during assembly. As part of its creation is offered a new approach to the formation of an electronic model for the analysis of detail based on the topological changes in the geometry of the structure described in the drawing volumes of general welding strains and bind to the lines, which refer to the shape parameters of the welds. Excluding the impact of errors in the manufacture of parts sheathing is manufactured using cold bending in this technology at the expense of a full transition to the assembly of structures on the "frame", and to improve the accuracy of parts of the ship set is proposed to replace the parts section rolled on equivalent parts cut from the sheet with thermal cutting machine with computer numerical control.

Ключевые слова: корпусные конструкции, «точная деталь», «точная конструкция», «сборочная заготовка», «электронная модель судна», сварочные деформации, припуски, машинная термическая резка с числовым программным управлением, сборка на каркасе.

Key words: hull construction, «exact detail», «exact construction», «assembly blank», «electronic model of the ship», the welding deformation, allowances, thermal cutting machine with computer numerical control, assembly on the frame.

В НАСТОЯЩЕЕ время отечественное судостроение находится на стадии коренной перестройки. Руководителям многих предприятий приходится заниматься реализацией задач внедрения новых организационных и технических решений на основе реконструкции своих производственных мощностей как применительно к современным условиям, так и в расчете на перспективу. Одними из наиболее сложных с точки зрения уровня принимаемых инженерных решений в настоящее время являются технологии изготовления корпусных конструкций, так как именно они во многом определяют сроки и качество строительства судов. Имеющиеся отечествен-

ные научные положения в данной области не всегда способны дать однозначные ответы на вопросы, возникающие у руководителей заводов при проведении масштабной модернизации своих предприятий.

Основной разработчик научных решений, связанных с технологией строительства судов, – ОАО «ЦТСС», в вопросах корпусостроения в настоящее время занимается в основном отдельными направлениями развития технологий резки листового проката и гибки вырезанных заготовок из листа и практически не ведет работ, связанных с совершенствованием технологии сборки корпусных конструкций. В результате данные направления развития производства предприятия вынуждены решать на основе зарубежных и частично собственных разработок.

Сегодня за рубежом широко рекламируются возможности применения робототехники для изготовления корпусных конструкций (рис. 1). Предлагаются отдельные решения по автоматизации выполнения сборочных и сварочных операций при изготовлении как плоских, так и объемных секций. Однако данное оборудование достаточно дорогое, поэтому ориентироваться на его применение при проведении модернизации производства можно только в случае правильной оценки всех проблем, связанных с эффективностью его применения, и возможных перспектив дальнейшего долговременного развития созданной технологии сборки на основе применения этого оборудования.

Проанализировав особенности известных вариантов автоматизированных технологий изготовления корпусных конструкций, можно сделать вывод о том, что в основе их эффективного применения должны лежать возможности автоматизации подготовки управляющих программ для сварочных роботов на базе использования постоянно развивающихся CAD/CAM систем. Следовательно, предприятие должно использовать их у себя в рамках выполнения подготовки производства, а также реализации технологии сборки без припусков, которая предполагает новое отношение к определению понятий «точная деталь» и «точная конструкция».

а)



б)



Рис. 1. Использование роботов для изготовления корпусных металлоконструкций:
а — роботизированный стенд для изготовления плоских конструкций;
б — стенд для изготовления объемных секций с использованием сварочного робота

До начала использования машин термической резки (МТР) с числовым программным управлением (ЧПУ), вычислительной техники и информационных технологий в судостроении вообще не существовало понятий «точная деталь» и «точная конструкция». Понятие «точность» в корпусостроении вообще было весьма условным. То, что до эпохи информационных технологий фиксировалось в плазовом эскизе на деталь, а затем производилось, правильнее следовало бы называть *сборочной заготовкой* [1]. Погрешности детали формировались при выполнении измерений на плазовой разбивке, затем в процессе ее разметки на листе и далее в рамках технологии вырезки. Результирующая геометрия деталей могла отличаться от заданной в чертеже на 5–10 мм. Поэто-

му приближение формы собранной конструкции к теоретически необходимой осуществлялось за счет искусства назначения припусков на детали и технологии их удаления при сборке.

С появлением МТР с ЧПУ и CAD/CAM систем понятие «точность» стало употребляться чаще, но все равно не в том виде, как в машиностроении. Даже в случае замены плазменной разбивки на электронную модель судна (рис. 2) принцип определения формы деталей в рамках решения задачи аналитической детализации практически не отличался от традиционного. Процесс расчетного определения формы любой детали сводился к описанию с помощью специализированного проблемно-ориентированного алгоритмического языка границ детали через ссылки на линии из состава электронной модели и других формоопределяющих линий, а также к описанию узловых точек их пересечения и т. д. [2]. Это позволило рассчитывать геометрию деталей с такой точностью, что если после вырезки на МТР с ЧПУ их сложить в единой системе координат (не выполняя сварки), они образовывали конструкцию, описанную в исходном чертеже. Однако после сварки в конструкции, собранной из таких деталей, возникают сварочные деформации, которые в большинстве случаев вызывают укорачивание всей конструкции и ее изгиб в продольном и поперечном направлениях. При этом их фактические значения часто выходят за границы допустимых требований к нормируемой геометрической точности изготовления корпусных конструкций.

С целью снижения объема сварочных деформаций на этапах проектирования судна используют комплекс специальных мероприятий по определению рациональных конструктивных решений и оптимальных параметров сварных соединений. В процессе технологической подготовки постройки судов для снижения объема сварочных деформаций в корпусных конструкциях в течение длительного времени создавались методы разработки оптимальной технологии выполнения сварных соединений и выбора рациональной последовательности их сборки. Сегодня для изготовления днищевых конструкций с настилом второго дна отраслевыми документами предлагается 12 типовых вариантов сборки и сварки на наружной обшивке и 11 вариантов на настиле второго дна, а для бортовых и плоскостных секций — четыре различных варианта технологии сборки. При этом каждый из предлагаемых вариантов обеспечивает различные объемы общих сварочных деформаций.

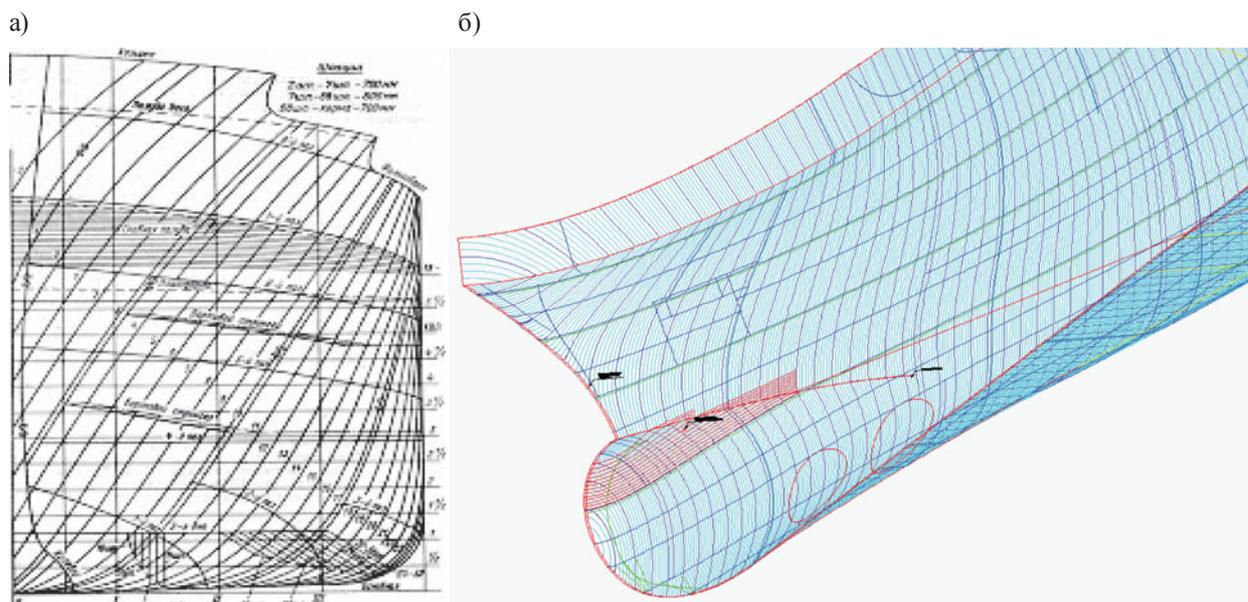


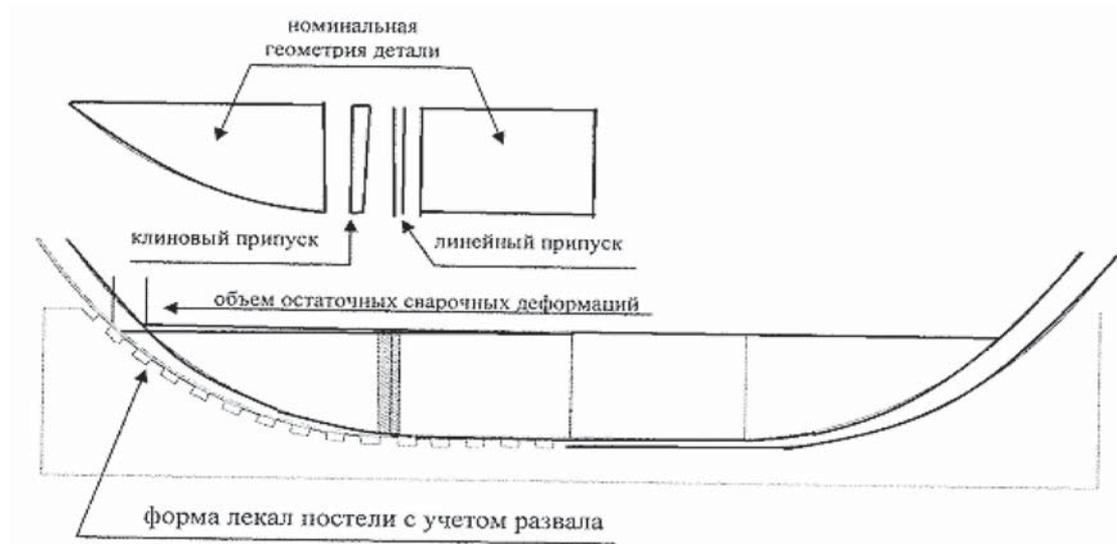
Рис. 2. Замена плазменной разбивки (а) на «электронную модель судна» (б)

Однако конструктивные решения, совместно с оптимизацией параметров сварки и выбором рациональной последовательности сборки секций, не устраняют сварочные деформации полностью, а лишь частично снижают их объем. Поэтому в процессе выполнения технологической подготовки постройки судна предприятиями-строителями разрабатываются специальные меропри-

ятия по компенсации возникающих при сборке остаточных сварочных деформаций укорочения и изгиба. В большинстве случаев их суть сводится к введению в геометрию деталей, входящих в состав корпусной конструкции, специальных припусков.

В качестве основных для компенсации сварочных деформаций применяются два вида припусков: *линейные* (постоянные) — компенсация деформаций укорочения и *клиновые* — компенсация деформаций укорочения и изгиба (рис. 3).

а)



б)

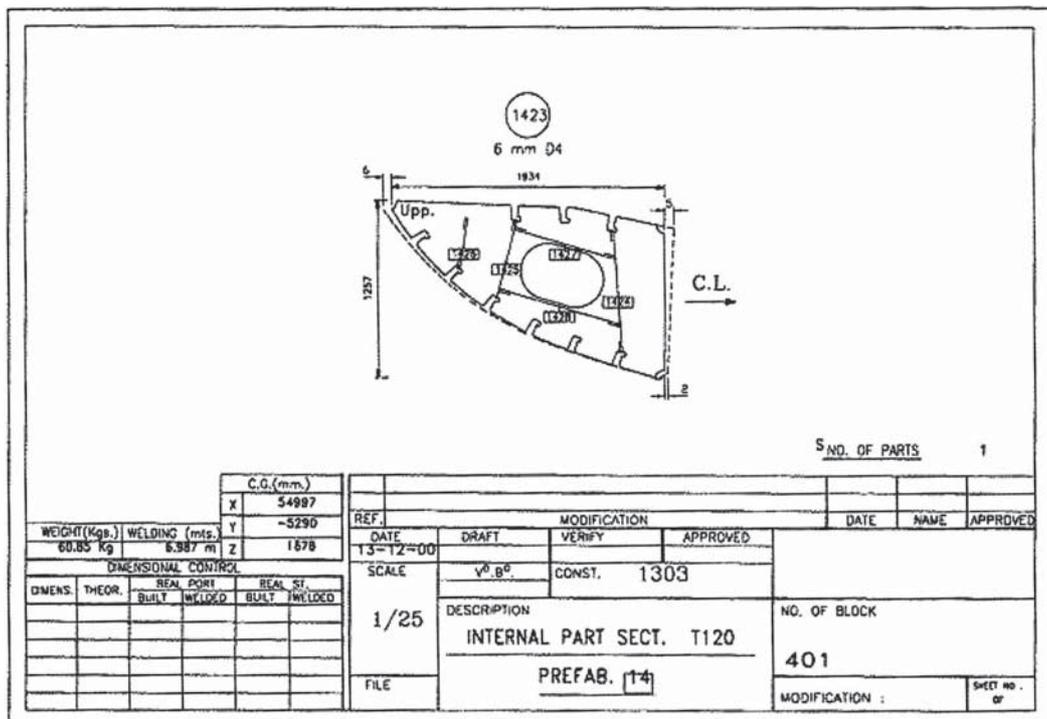


Рис. 3. Традиционный метод компенсации остаточных сварочных деформаций с помощью припусков:
а — принцип назначения линейных и клиновых припусков;
б — вид технологического документа на изготовление детали с учетом припуска

Для определения численных значений данных припусков в течение длительного времени использовались аналитические зависимости расчета значений поперечного и продольного укорочения конструкции и центральных углов ее изгиба:

$$\Delta B = \left(\sum_{i=1}^m W_i + \sum_{j=1}^n V_j \right) \frac{1}{F_i}; \quad (1)$$

$$\varphi_b = \left(\sum_{i=1}^m W_i z_i + \sum_{j=1}^n V_j z_j \right) \frac{1}{J_i}; \quad (2)$$

$$\Delta L = \left(\sum_{j=1}^n W_j + \sum_{i=1}^m V_i \right) \frac{1}{F_b}; \quad (3)$$

$$\varphi_i = \left(\sum_{j=1}^n W_j z_j + \sum_{i=1}^m V_i z_i \right) \frac{1}{J_b}, \quad (4)$$

где $\Delta B, \Delta L$ — соответственно поперечное и продольное укорочения сечения, см;

φ_b, φ_i — соответственно продольный и поперечный углы поворота концов сечения в плоскости набора, рад;

m — количество продольных швов;

n — количество поперечных швов;

F_i, F_b — площади сечения сечения, соответственно, в продольном и поперечном направлениях, см²;

J_i, J_b — моменты инерции площадей F_i, F_b , см²;

W, V — соответственно объемы поперечного и продольного укорочения, см³;

z_i, z_j — соответственно расстояния от центров тяжести объемов W, V до центральной оси.

Это несколько изменило отношение к понятию «точная деталь». «Точной» стали называть деталь номинальной формы с учетом введения в нее компенсационных припусков, поскольку деталь именно такой формы вырезалась из листа машинной термической резки с числовым программным управлением (МТР с ЧПУ) и определяла точность конструкции. В настоящее время способы оценки сварочных деформаций корпусных конструкций получили существенное развитие на основе использования методов конечных элементов. Комплексное изложение последних достижений в этом направлении приведено в докторской диссертации В. И. Алферова [3]. На рис. 4 приведен вариант расчета деформации танкера с использованием методов конечных элементов.

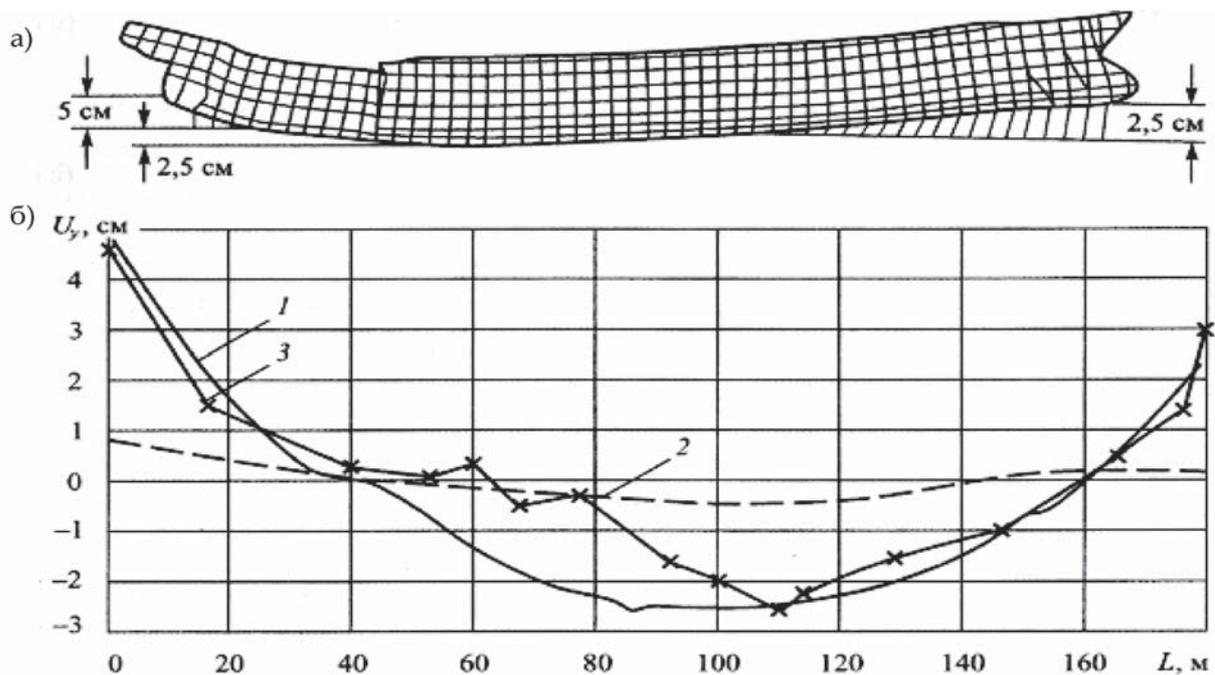


Рис. 4. Результаты оценки сварочных деформации корпуса танкера с использованием методов конечных элементов:

a — деформации корпуса танкера; *б* — график зависимости сварочных деформаций

Однако применяемые технологии сборки и сварки деталей, вырезаемых с учетом компенсационных припусков, все равно не обеспечивают во всех случаях получение необходимого эффекта. Основная причина состоит в том, что расчетные методы определения параметров общих деформаций не учитывают возможные несоблюдения сварочных зазоров, катетов сварных швов и других элементов технологической дисциплины. Поэтому они используются лишь частично.

Практика показала, что для повышения эффективности данных методов необходимо разработать способы компенсации сварочных деформаций без помощи припусков. При таком подходе в случае разработки автоматизированных технологий сборки в качестве оборудования для автоматизации сборки «каркаса» могут использоваться уже существующие на западном рынке специализированные роботы, для внедрения которых каких-либо новых научно-технических решений не потребуется. Поэтому уровень их совершенствования и автоматизации процесса сборки может постоянно увеличиваться параллельно с конструктивным совершенствованием сборочно-сварочного оборудования. В то же время задача повышения точности собираемых деталей каркаса имеет широкие возможности для совершенствования. В частности, реализация такого подхода требует полного пересмотра существующих понятий, связанных с точностью изготовления каркаса судовых конструкций.

Имеющееся сегодня на заводах оборудование с ЧПУ для вырезки плоских деталей из листового проката при определенной доработке системы аналитической детализации в состоянии обеспечить точность сборки корпусных конструкций, необходимую для автоматизации их изготовления. Однако для объемных деталей обшивки корпуса судна, изготавливаемых с применением холодной гибки, анализ существующих решений в области повышения точности показал, что в ближайшие 10–15 лет аналогичного увеличения точности их изготовления не произойдет. Поэтому в статье проанализирован вариант автоматизации сборки корпусных конструкций, в основе которого заложены только возможности точности вырезки листовых деталей на МТР с ЧПУ.

В принципе, сборка без припусков из деталей, вырезаемых на МТР с ЧПУ, возможна, если модель корпусной конструкции, используемую для решения задач аналитической детализации, растянуть и изогнуть в направлениях, противоположных сварочным деформациям. В этом случае вырезанные и собранные без сварки детали будут формировать удлиненную и изогнутую конструкцию в сторону, обратную сварочным деформациям, а после сварки изменения геометрии собранной конструкции приведут ее к номинальному виду.

Введенные изменения в математическую модель конструкции приведут к тому, что геометрия всех деталей, входящих в состав корпусной конструкции, получит незначительные изменения не по одной кромке, а по всему контуру (интегрированные изменения контура). Минимальные значения данных изменений будут лежать в пределах 0,1 мм. Однако сумма всех изменений будет компенсировать общие сварочные деформации конструкции, возникающие при ее изготовлении, в пределах существующих допусков на отклонения размеров. При таком подходе отпадает необходимость проектирования схемы припусков и определения параметров изменения положения мест установки элементов набора в контуровочных эскизах. Необходимо лишь изменить геометрию математической (электронной) модели конструкции, а далее выполнять работы по определению формы всех деталей, их вырезки и последующей сборки, не задумываясь о последующих сварочных деформациях (делать «кривое», которое в результате сварочных деформаций должно стать «прямым»). Понятно, что описанный вариант является лишь концептуальной версией. На практике его реализация в полном объеме пока возможна только для конструкций, в состав набора которых входят детали, вырезаемые на МТР с ЧПУ.

Для деталей набора, изготавливаемых из профильного проката с использованием холодной гибки на ребро, ввести в их форму интегральные изменения аналогично листовым деталям сегодня не представляется возможным. Однако для конструкций с листовым набором данный подход можно реализовывать уже сегодня. В частности, для задания криволинейных поверх-

ностей в системах аналитической детализации уже начинают использовать кубические NURBS поверхности [4], [5]. Если с помощью такого подхода задать поверхность нейтрального слоя конструкции, то тогда, применяя топологические преобразования, можно растянуть и изогнуть его в объемах сварочных деформаций и относительно нового нейтрального слоя конструкции сделать перерасчет всей модели. Кроме того, с началом использования для проектирования трехмерной модели судна предпринимаются отдельные попытки учитывать в номинальной форме детали, помимо компенсационных мероприятий, также и сварочные зазоры. В связи с этим предлагается изменить принцип формирования электронной модели описания конструкции для решения задач аналитической детализации. Вначале модель формируется, как обычно, по данным чертежа. Однако далее она используется не для расчетного определения формы деталей, а для формирования модели конструкции «первого уровня», учитывающей все мероприятия для компенсации сварочных деформаций (растяжку и изгиб). После чего полученная электронная модель конструкции будет использоваться для создания «точной модели конструкции», в составе которой будут описаны все элементы для привязки необходимых параметров сварочных швов к расчетной форме деталей. Именно второй уровень «точной электронной модели конструкции» предлагается использовать для определения форм «точных деталей» с помощью средств аналитической детализации. Таким образом, в случае их сборки на прихватках с соблюдением сварочных зазоров после сварки в любом случае будет получаться конструкция, описанная в модели конструкции «первого уровня». Только такой подход позволит описать технологию сварки корпусной конструкции в числовом виде для автоматизированного оборудования сборки и сварки корпусной конструкции.



Рис. 5. Сборка корпусной конструкции на каркасе

Для того, чтобы исключить погрешности гибки листовых деталей обшивки, необходимо полностью перейти на технологию сборки на каркасе (рис. 5). При таком подходе в случае разработки автоматизированных технологий сборки в качестве оборудования для автоматизации сборки «каркаса» могут использоваться уже существующие на западном рынке специализированные роботы, для внедрения которых каких-либо новых научно-технических решений не потребуется. Поэтому уровень их совершенствования и уровень автоматизации процесса сборки может постоянно повышаться параллельно с конструктивным

совершенствованием сборочно-сварочного оборудования. В то же время, задача повышения точности собираемых деталей каркаса имеет большие перспективы для совершенствования на основе комплексных научных исследований. В частности, для решения задачи увеличения точности изготовления деталей судового набора можно заменять гнутые детали из профильного проката на эквивалентные по прочности детали, вырезаемые из листа. Это позволит изготавливать их на МТР с ЧПУ с учетом интегрированных изменений формы для компенсации сварочных деформаций в процессе обычной аналитической детализации. Результаты расчетной оценки такой возможности, выполненной на примере замены балок набора длиной 1 м с присоединенным пояском шириной 167 мм и толщиной 10 мм, изготавливаемых из полосо-бульба на детали, вырезаемые из листа с эквивалентным моментом сопротивления, приведены в таблице.

**Сравнительная характеристика балок набора из полособульба
и деталей, вырезаемых из листа**

| Детали | h , мм | s , мм | Теоретическая масса одного метра профиля, кг | W_x с присоединённым пояском, см ³ |
|-------------------|----------|----------|--|---|
| Полособульб № 8 | 80 | 5 | 4,58 | 88,2 |
| балка | 90 | 8 | 4,71 | 87,8 |
| Полособульб № 9 | 90 | 5,5 | 5,52 | 105 |
| балка | 100 | 8 | 5,1 | 103 |
| Полособульб № 10 | 100 | 6 | 6,76 | 123 |
| балка | 110 | 9 | 6,3 | 121 |
| Полособульб № 12 | 120 | 6,5 | 8,75 | 159 |
| балка | 130 | 10 | 8,1 | 158,3 |
| Полособульб № 14а | 140 | 7 | 11,05 | 196,5 |
| балка | 150 | 10 | 9,2 | 193 |
| Полособульб № 16а | 160 | 8 | 14,08 | 237 |
| балка | 170 | 11 | 11,3 | 234 |

Расчеты показали некоторое увеличение толщины и высоты эквивалентных балок. Уравнивание весовых характеристик балок возможно за счет применения различных конструктивных решений. В частности, в ряде случаев можно использовать вырезы в зоне нейтрального слоя, однако это тема отдельного исследования. В данном случае важно, что замена деталей из профильного проката на детали, вырезаемые из листа с помощью МТР с ЧПУ, может существенно расширить область применения автоматизированной технологии сборки и сварки корпусных конструкций в судостроении.

Список литературы

1. *Веселков В. В.* Решение задач технологической подготовки судостроительного производства с помощью ЭВМ: аналит. обзор / В. В. Веселков. — ЦНИИ «Румб», 1989.
2. *Горбач В. Д.* Повышение точности изготовления плоскостных корпусных конструкций / В. Д. Горбач // Судостроение. — 1966. — № 2. — С. 76 – 83.
3. *Алферов В. Д.* Методы расчета сварочных деформаций и напряжений судовых корпусных конструкций: монография / В. Д. Алферов. — СПб.: ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2014. — 309 с.
4. *Ситников А. Н.* Разработка методов геометрического моделирования в автоматизированных системах технологической подготовки производства в судостроении: дис. ... канд. техн. наук. — Л., 1997.
5. *Томашевский В. Н.* Имитационное моделирование в среде GPSS: учеб. пособие / В. Н. Томашевский, Е. Г. Жданова. — М.: Бестселлер, 2003. — 123 с.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКОГО БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

PROSPECTIVE WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF DIAGNOSIS RELIABILITY PARAMETERS OF OPERATION OF OFFSHORE DRILLING EQUIPMENT

В статье даны рекомендации по определению функции надёжности на основании базы данных, накапливаемых посредством автоматизированных информационно-измерительных систем непосредственно в ходе производственного процесса. Обоснована целесообразность кластеризации отказов и определения численного соотношения между отказами по кластерам. Показано, что повышение точности при определении плотности отказов возможно благодаря построению многопараметрических математических моделей оборудования и выполняемых им технологических процессов. Описаны методы идентификации информационной составляющей в трендах измерений и эффективных методов её анализа. Показаны пути не только оценки параметров надёжности эксплуатации оборудования, но и продления времени его безотказной работы за счёт реализации оптимального управления на основе статистических данных и уточнённых математических моделей оборудования и технологических процессов.

The article provides recommendations for the definition of reliability based on a database accumulated by means of automated information-measuring systems directly in the production process. Substantiated the clustering process failures and determining the ratios between failures by cluster. It has been shown increasing the accuracy in determining the density of possible failures due to the construction equipment multiparameter mathematical models and processes performed by them.

Methods are described for the identification of the information component in the measurement data and effective methods for its analysis. Are shown the way not only to assess the reliability of equipment operation parameter, but also extending the time of its trouble-free operation due to optimal control based on statistical data and the refined mathematical models of managed equipment and processes.

Ключевые слова: функция надёжности, идентификация, математическая модель, кластер, морское буровое оборудование.

Key words: reliability function, identification, mathematical model, cluster, offshore drilling equipment.

СОВРЕМЕННЫЙ уровень развития информационных технологий и рост использования их в нефтегазодобывающей отрасли потенциально позволяют совершить беспрецедентный качественный скачок в решении проблем надёжности, диагностирования и прогнозирования оборудования нефтегазодобычи. До сих пор малые объёмы и точность данных промышленной эксплуатации морских буровых установок являются основным фактором, существенно снижающим достоверность статистических оценок и точность моделей нефтегазовых технологических процессов. В то же время, автоматические компьютерные системы находят применение во все большем количестве нефтегазодобывающих установок, что теоретически позволяет реализовать накопление широчайших баз данных, куда могут вноситься данные по эксплуатационным параметрам и показателям оборудования, условиям добычи, потребления

энергоресурсов и т. д. Объем информации, накопленный за 20–25 лет, т. е. с начала применения в нефтедобывающей отрасли компьютерных систем до сегодняшнего времени, позволяет значительно повысить точность диагностирования и прогнозирования надежности эксплуатации оборудования на подобных объектах.

Известно, что классические исследования в области надежности оборудования опираются на постановку натуральных экспериментов, но нефтегазодобывающая отрасль, в сравнении с прочими отраслями промышленности, имеет свою специфику, исключая возможность такого подхода. Причина этого заключается в постоянно изменяющихся литологических условиях бурения, различных климатических условиях, географических масштабах и т. д., ввиду чего оценить рабочий ресурс, среднее время наработки и прочие показатели надежности оборудования становится возможным исключительно на основании данных, полученных непосредственно в процессе его эксплуатации. Перспективность эксплуатации морского бурового оборудования обусловлена в наше время открытием новых месторождений.

В развитии методов прогнозирования параметров надежности морского бурового оборудования в нефтегазодобывающей отрасли перспективным является использование моделирования. Для адекватного описания технической системы такого уровня сложности необходимо строить также модель, способную к сложному поведению (адаптации), в результате чего приходится отказываться от детерминированного подхода с его ограничениями в пользу стохастических моделей, моделей с элементами самоорганизации, обучаемости и т. п. Это объясняется трудностью построения адекватной детерминированной математической модели процесса бурения или добычи, обусловленной существенной ограниченностью классических методов диагностики, таких как построение трендов, слежение за нахождением параметров в допустимых пределах и т. д. Таким образом, с одной стороны, для эффективного статистического анализа надежности морского бурового оборудования (далее будем использовать термин «оборудование» как комплексную составляющую) необходимы производственные данные в течение периода наблюдений не менее десяти лет, с другой, прогнозирование аварий оборудования и методы, основанные на моделировании технологических процессов, требуют обновления данных несколько раз в сутки. Только при наличии этих массивов данных становится возможным идентификация динамических изменений процесса бурения и принятия решений по его оптимизации.

Отдельной нерешенной проблемой, существенно затрудняющей диагностирование параметров надежности эксплуатации оборудования, является проблема адекватной интерпретации данных диагностических измерений. Перспективными направлениями здесь являются использование нейронных сетей, нечеткой логики, теории детерминированного хаоса и т. д.

В наибольшей степени надежность и долговечность оборудования зависят от характеристик месторождения и параметров эксплуатации оборудования в данных условиях, т. е., очевидно, что одно и то же оборудование при различных литологических характеристиках скважин и одинаковых режимах эксплуатации будет иметь различный износ. Аналогичная картина наблюдается также в случае, если оборудование, работающее в идентичных скважинных условиях, будет иметь различные режимы эксплуатации.

Описание показателей надежности в количественной форме производят при помощи функции распределения вероятностей таких (случайных) величин, как время безотказной работы элемента оборудования, интервалы между отказами и т. д. Влияние условий эксплуатации (параметров и характеристик месторождения) и обязательность их учета приводят также к необходимости учета зависимостей параметров распределений от времени. Таким образом, для обеспечения повышения уровня надежности оборудования в нефтегазодобывающей отрасли и достоверности методов его технической диагностики необходимо подробно исследовать влияние условий эксплуатации и используемых в данных условиях режимов эксплуатации оборудования на его надежность и отказоустойчивость.

Определение функции надежности на основании эмпирических данных. Наиболее информативным показателем таких вероятностных величин, как, например, время наработки обо-

дования на отказ, является функция распределения. Параметры функции распределения и характер распределения обуславливаются множеством факторов: от характеристик оборудования, до многочисленного ряда параметров его эксплуатации. Причем параметры эти, будучи обусловлены характеристиками месторождения, постоянно изменяются во времени. В результате даже при наличии исчерпывающего количества и объема данных по отказам оборудования построение теоретических моделей связано с труднопреодолимыми сложностями. Поэтому до сих пор наиболее используемым методом определения функций распределения при исследованиях надежности в данной отрасли является построение эмпирических законов распределения. Это также объясняется тем, что благодаря использованию в настоящее время компьютерных систем сбора информации, их достоверность можно существенно повысить за счет увеличившихся объемов статистических данных. Большие объемы эмпирических данных в совокупности с уточненными функциями распределения позволяют находить корреляцию интенсивности отказов с характеристиками месторождения, функции распределения, зависимость интенсивности отказов от времени и характеристик места добычи, т. е. находить законы изменения показателей надежности в зависимости от условий эксплуатации оборудования.

Для максимальной эффективности использования накопленных баз данных, при эмпирическом определении параметров надежности эксплуатации оборудования, целесообразно руководствоваться следующими соображениями. Если структурировать информацию базы данных по дефектам оборудования на интервалах времени, где характеристики места добычи остаются неизменными в своих характерных параметрах, то становится возможным совмещать по временной шкале моменты начала эксплуатации всех единиц оборудования в одну точку, так как факторы их эксплуатации при этом будут идентичными. Конечно, одновременно на шкале времени будут смещены и точки возникновения дефектов, но время наработки при этом не изменится. Тогда, приняв, что первоначально число единиц оборудования, вводимое в работу на каком-либо месторождении, равно N_0 , t — период времени, на котором рассчитывается функция вероятности безотказной работы, а $N_f(t)$ — количество единиц оборудования, потерявшего работоспособность за период t , эмпирическое определение параметров надежности эксплуатации оборудования может быть выполнено с использованием функции безотказной работы:

$$R(t) = \frac{N_0 - N_f(t)}{N_0} = 1 - \frac{N_f(t)}{N_0}. \quad (1)$$

Предложенное условие (1) выделения промежутков времени сбора статистических данных по дефектам из условия сохранения постоянства факторов эксплуатации позволяет определить вероятность безотказной работы из соотношения числа единиц оборудования, вышедшего из строя, к общему их числу на момент ввода в эксплуатацию, вне зависимости от того, что, фактически, число единиц оборудования, находящегося в эксплуатации, не меняется благодаря его замене и ремонту в случае возникновения неисправностей.

Кроме того, в контексте задачи повышения эффективности использования накопленных баз данных, перспективной является кластеризация информации из каждой базы данных по характеру отказов. Подобная кластеризация возможна за счет объединения схожих отказов по групповым признакам. Например, отказы, создаваемые по электрическим причинам, механическим и т. д. (рис. 1). На основе такой кластеризации может быть реализован процесс идентификации наиболее распространенных причин возникновения неисправностей той или иной единицы оборудования и его элементов. При этом целесообразным становится включение и тех причин, которые не вызывают непосредственно поломки оборудования, но являются причиной остановки процесса разработки месторождения. Подобный анализ может производиться не только для полностью идентичных единиц оборудования, но и для различных его модификаций, что позволяет определять подверженность той или иной модификации возникновению определенных неисправностей по определенным причинам.

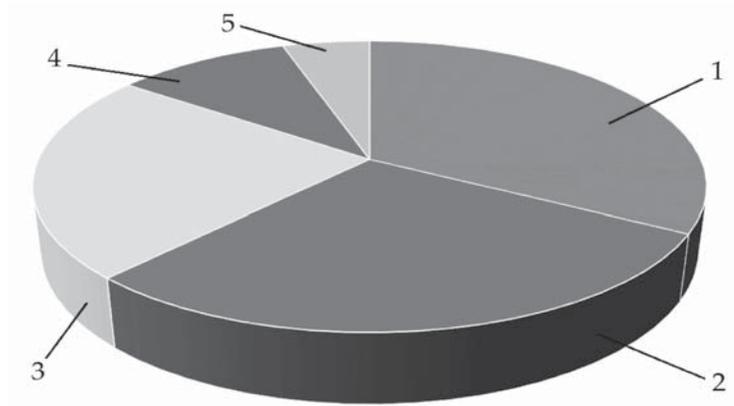


Рис. 1. Диаграмма кластеризации отказов по причинам:

- 1 — отказы по электрическим причинам: снижение сопротивления изоляции электромашин, пробой силового кабеля, дефект обмотки двигателя и т.п.;
 2 — отказы по механическим причинам: обрывы крепежных элементов, заклинивание;
 3 — отказы, связанные с непредусмотренным изменением хода технологического процесса;
 4 — остановка процесса по причине выхода параметров технологического процесса за допустимые пределы: различные нарушения свойств технологических жидкостей, отклонение от траектории бурения и т.п.; 5 — другие причины

Как видно, базы данных, накапливаемые посредством автоматизированных информационно-измерительных систем, делают возможным определение статистических законов распределения параметров надежности эксплуатации бурового оборудования на основании результатов замеров, производимых непосредственно в ходе производственного процесса, а их избыточность делает возможной кластеризацию отказов и определение численного соотношения между отказами по кластерам.

Динамика изменения показателей надежности эксплуатации оборудования морских буровых установок. Как было показано, время безотказной работы оборудования зависит от условий и режимов его эксплуатации. Подавляющее большинство существующих статистических моделей, применяемых для описания вероятности отказа оборудования буровых установок, предполагает, что поток отказов стационарен. Однако, как отмечалось ранее, параметры функции распределения отказов изменяются в зависимости от времени и, очевидно, что по мере старения оборудования, интенсивность отказов будет возрастать.

На основании выражения (1) можно утверждать, что закон появления отказа за промежуток t будет определяться выражением

$$G(t) = 1 - R(t) = \frac{N_f(t)}{N_0}. \quad (2)$$

Зависимость плотности отказов от времени работы оборудования будет равна отношению дифференциала от $R(t)$ к $R(t)$:

$$\gamma(t) = \frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}. \quad (3)$$

Зависимость изменения плотности отказов от времени определяется как внутренними факторами оборудования, такими как качество изготовления конкретной его единицы, характер процесса старения его элементов и т.п., так и внешними факторами, такими как текущие скважинные характеристики, режимы работы, задаваемые буровым инженером или системами автоматики, и т.п. Если для простоты изложения принять, что все единицы оборудования выполнены с одинаковым качеством изготовления и процессы старения в них протекают идентично, то получим, что изменение плотности отказов со временем определяется исключительно внешними факторами,

воздействующими на оборудование буровой. Используя трехпараметрический закон распределения Гомперца, на основе его интегральной функции распределения и зависимости (3), получим выражение

$$G(t) = 1 - \exp\left(-\int_0^t \gamma(t) dt\right). \quad (4)$$

Здесь $\int_0^t \gamma(t) dt = K_1 t + K_2 (e^{K_3 t} - 1)$, где K_1, K_2, K_3 – положительные константы, определяемые как параметры эмпирических зависимостей.

В то же время, учитывая выражения (2) и (3), получим

$$R(t) = \exp\left(-K_1 t - K_2 (e^{K_3 t} - 1)\right). \quad (5)$$

В выражениях (4), (5) коэффициент K_1 отражает влияние внешних факторов эксплуатации, а K_2 и K_3 – характеризуют износ оборудования.

Исходя из (1) – (5), плотность отказов будет определяться выражением

$$\gamma(t) = K_1 + K_2 K_3 e^{K_3 t}.$$

Таким образом, плотность отказов будет возрастать со временем ввиду износа оборудования, а также будет зависеть от внешних факторов.

Практические исследования показывают, что применение трехпараметрической модели по сравнению с экспоненциальными одно- и двухпараметрическими позволяет повысить ее точность в 2–4 раза (рис. 2). Однако даже в этом случае улучшается лишь понимание зависимости отказов от износа, но при большом количестве внешних факторов отклонение модели от реальной системы существенно возрастает (рис. 3). Тем не менее, минимизация ошибки при определении плотности отказов, вызванных внутренними факторами, позволяет с большей точностью выделять отклонения модели, связанные с ошибками учета влияния внешних факторов.

Таким образом, исходя из ранее изложенного, можно сделать вывод о том, что повышения точности при определении плотности отказов можно достичь благодаря построению многопараметрических математических моделей оборудования и выполняемых при помощи него технологических процессов.

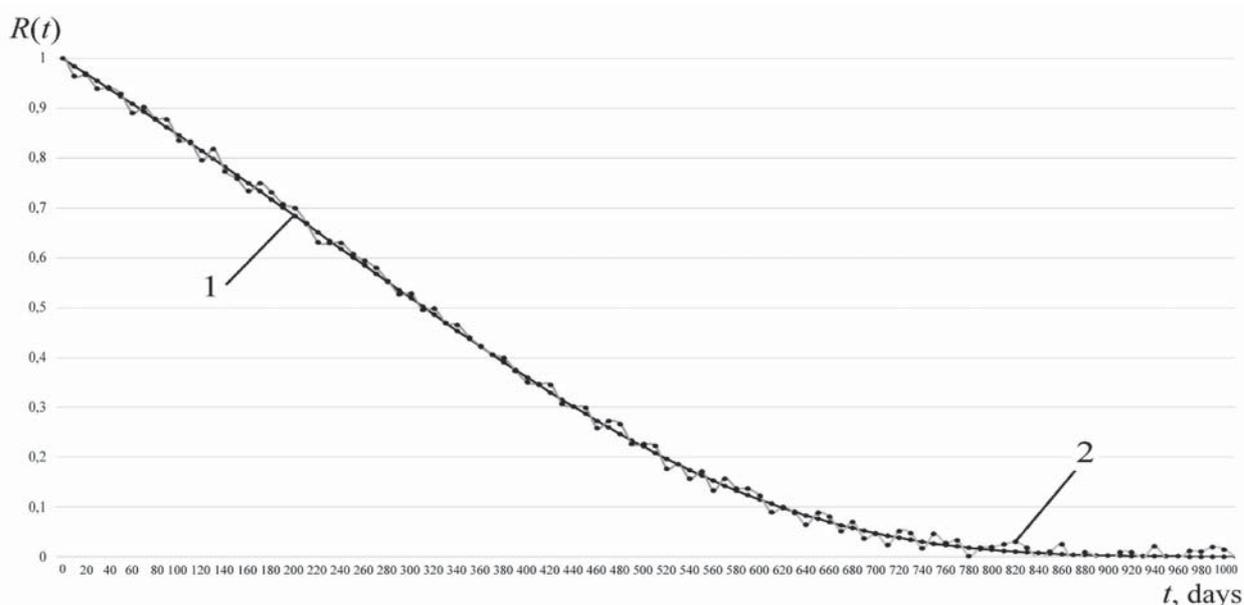


Рис. 2. Вид реальной 2 и полученной на основе трехпараметрической модели 1 функции безотказной работы единицы бурового оборудования при отсутствии существенных изменений скважинных характеристик

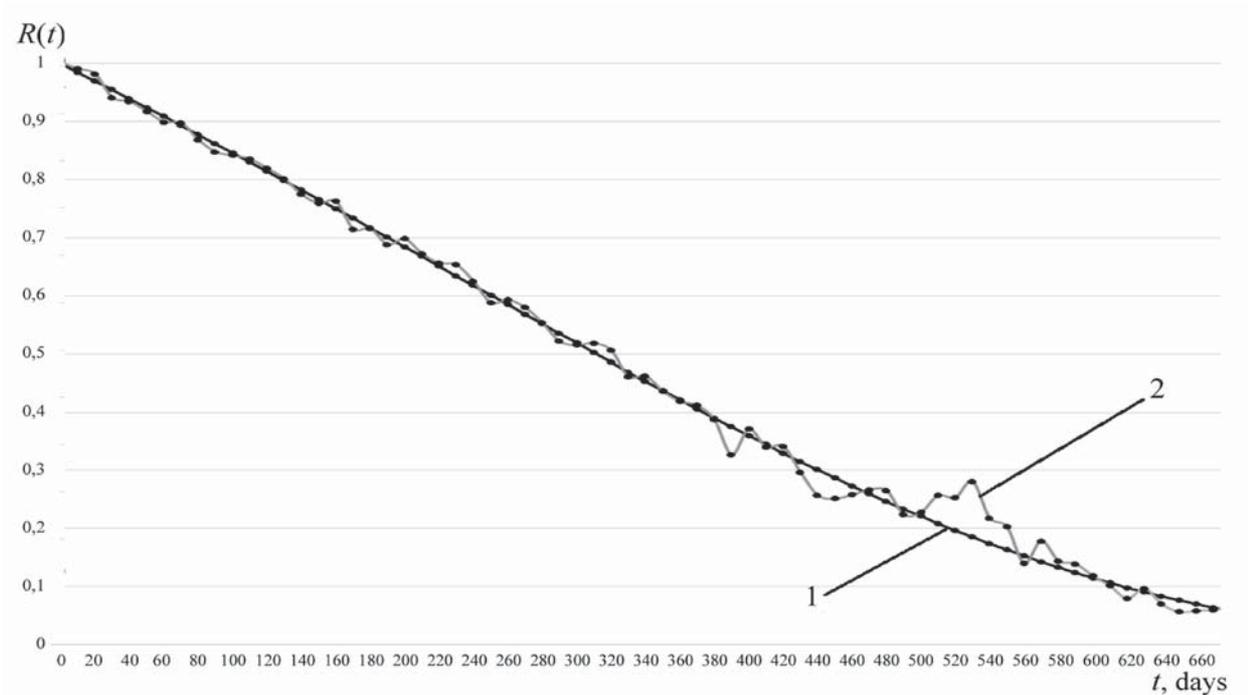


Рис. 3. Отклонение значений реальной 2 функции безотказной работы единицы бурового оборудования от полученных с помощью трехпараметрической модели 1 при непредвиденном изменении скважинных характеристик

Диагностирование технического состояния и надежности (морского) бурового оборудования на основании данных эксплуатации. Рассмотренные аспекты повышения точности определения параметров надежности бурового оборудования необходимо дополнить проблематикой методов контроля параметров надежности и диагностики, так как эти методы теоретически способны давать оценку технического состояния не только по глубокому ретроспективному анализу статистической информации, но и по текущему результату измерений, что позволит предотвратить ряд отказов, провоцируемых как внутренними, так и внешними факторами эксплуатации оборудования.

Одним из наиболее перспективных направлений в развитии диагностирования технического состояния оборудования является *метод вибродиагностики*. С одной стороны, развитие средств регистрации и обработки вибросигналов позволило заметно увеличить диагностические возможности данного метода, а с другой, эффективность данного метода, в не меньшей степени, зависит от методов анализа полученных данных. Теоретическая оценка достоверности вибродиагностических методов дает значения на уровне 90 %. Так, по данным, представленным в [1], достоверность диагностирования по среднеквадратичному значению виброскорости составляет 60–70 %, по спектрам вибросигналов — 80 %, по спектральным анализам с гомоморфной фильтрацией — 83 %. Однако на практике точность диагностирования катастрофически ниже и не превышает 30 %. В связи с этим особый интерес представляет разработка альтернативных методов вибродиагностики. Перспективным направлением решения данной проблемы является применение развивающейся теории модального анализа, которая позволяет сопоставлять измеряемые спектры реального оборудования со спектрами, получаемыми на математической модели данного оборудования, что значительно упрощает их анализ. Однако практическое применение данной теории пока затруднительно в связи с недостаточной ее проработанностью.

Одним из многообещающих способов повышения достоверности любого вибродиагностического метода на сегодняшний день является реализация учета шумовой составляющей измере-

ний, ее исследование и анализ при вибродиагностике. Дело в том, что информация о техническом состоянии единицы оборудования содержится в частотном диапазоне вибросигналов от 10 Гц до 1 кГц [1] – [4]. Однако при натуральных испытаниях было обнаружено, что у одной и той же единицы оборудования возможно изменение спектра вибросигналов в течение промежутков времени, измеряемых единицами минут [5] – [6].

В настоящее время используемые на практике системы имеют, как правило, схожую структуру, состоящую из фильтра, вычислителя среднеквадратичного значения и системы преобразования Фурье [7], [8]. Достоверность вибродиагностических методов теоретически можно улучшить благодаря использованию методов на основе применения математической статистики, теории нелинейных явлений и синергетики. Исследования на предмет влияния возможных дефектов или неконтролируемых изменений в режимах работы данного оборудования привели к выводу о том, что причина изменения спектра может заключаться в неучтенных низкочастотных составляющих сигналов. Причем возможно это лишь в случае нелинейного взаимодействия низкочастотных и высокочастотных колебаний, приводящего к модуляции полезного сигнала и генерирующего ряд комбинационных (суммарных и разностных) частот [9], [10]. Подобное взаимодействие препятствует адекватному анализу вибросигналов, что объясняет получаемую на практике низкую точность различных методов диагностирования.

Выводы. Изменения условий эксплуатации морского бурового оборудования вызывают изменение видов законов распределения и функции надежности оборудования, а также интенсивности отказов как функции времени и параметров бурения и добычи. В связи с этим при оценке показателей надежности необходимо учитывать влияние условий эксплуатации оборудования как в случае широкого ретроспективного анализа с учетом влияния внешних и внутренних параметров на надежность оборудования и кластеризации отказов по характерным причинам, так и в случае выполнения диагностики работающего оборудования в режиме реального времени по производимым в данный момент замерам.

Выделение информационной составляющей из данных измерений и применение к ней эффективных методов анализа, позволяющих повысить достоверность диагностики, позволит использовать полученные оценки для осуществления оптимального управления технологическими процессами буровых и нефтегазодобывающих комплексов, так как станет возможным в автономном режиме корректировать режимы работы оборудования в зависимости от действующих на него внешних параметров. Таким образом, решение указанных проблем поможет не только производить оценку параметров надежности эксплуатации оборудования, но и продлевать время его безотказной работы за счет оптимального управления на основе статистических данных и уточненных математических моделей управляемого (морского) оборудования и технологических процессов.

Список литературы

1. Рейнике М. Пути повышения экономической эффективности операций на старых нефтяных месторождениях / М. Рейнике, К. Тренел, Э. Хербст [и др.] // Нефть, газ и нефтехимия за рубежом. — 1989. — № 7. — С. 21–26.
2. Микаэлян Э. А. Перспектива применения газотурбинных агрегатов в нефтегазовой промышленности / Э. А. Микаэлян, Р. Э. Микаэлян, В. П. Дорохин // Нефтяное хозяйство. — 1998. — № 6. — С. 49–52.
3. Мирзаджанзаде А. Х. Теория и практика применения неравновесных систем в нефтедобыче / А. Х. Мирзаджанзаде, Ф. Г. Максудов. — Баку: Элм, 1985. — 220 с.
4. Мирзаджанзаде А. Х. Этюды о моделировании сложных систем нефтедобычи. Нелинейность. Неравномерность. Неоднородность / А. Х. Мирзаджанзаде, М. М. Хасанов, Р. Н. Бахтизин. — Уфа: ГИЛЕМ. — 1999. — 462 с.

5. *Жиленков А. А.* Применение нейронечёткого моделирования для задач идентификации многокритериальности в транспортной отрасли / А. А. Жиленков, С. Г. Черный // Вестник Самарского государственного университета путей и сообщений. — 2014. — № 1 (23). — С. 104–110.

6. *Соколов С. С.* Построение информационного обеспечения безопасной эксплуатации судна при помощи автоматизации управления размещением груза и реагирования на внештатные ситуации / С. С. Соколов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 4 (26). — С. 184–190.

7. *Чёрный С. Г.* Идентификация внешних параметров сигналов для экспертных подсистем в составе устройств судовых электроэнергетических систем / С. Г. Черный, А. А. Жиленков // Научно-технический вестник СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. — 2014. — № 3 (198). — С. 28–36.

8. *Ильиных А.* В России есть возможности для изготовления бурового оборудования для континентального шельфа / А. Ильиных // Тезисы выступления главного конструктора ЗАО «Уралмаш — Буровое оборудование» года на заседании рабочей группы ТПП РФ по развитию производства отечественного оборудования для работы на шельфе (<http://www.derrick.ru/?f=z&id=8407>).

9. *Чёрный С. Г.* Интеллектуальная поддержка принятия решений при оптимальном управлении для судовых электроэнергетических систем / С. Г. Черный, А. А. Жиленков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 3 (25). — С. 68–75.

10. *Моцохейн Б. И.* Электропривод зарубежных установок для морского бурения: обзор зарубежной литературы / Б. И. Моцохейн. — М.: ВНИИОЭНГ, 1977. — 76 с.

УДК 62.2+ 67.05+67.02+629.5.03

С. Н. Безпальчук,
инж.;

А. А. Буцанец,
нач. отдела;

В. М. Петров,
д-р техн. наук, проф.

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ СОСТОЯНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ УГЛЕПЛАСТИКОВ

GENERALIZED MODEL OF THE QUALITY STATUS OF SURFACE CRITICAL PARTS OF SHIP POWER PLANTS MADE OF COMPOSITE PLASTICS

Существенное влияние на работоспособность пар трения судовых энергетических установок, отдельные тедали которых выполнены их композиционных углепластиков, оказывают параметры качества и точности, которые обеспечиваются механической обработкой. На этапах проектирования и выполнения технологического процесса важно иметь критерии позволяющие управлять эксплуатационными параметрами трибосопряжения. В статье приведена обобщенная модель качества состояния поверхностного слоя деталей пар трения из композитов. Данная модель включает параметры: микрогеометрии поверхности, геометрической точности, технологических остаточных напряжений и упругопластической деформации. Для определения технологических остаточных напряжений предложен метод вдавливания алмазного индентора в поверхностный слой, где по диаграмме внедрения алмазного наконечника на различных участках определяют упругие и пластические составляющие. Микрогеометрия поверхности определяется методом сканирования алмазным индентором.

A significant impact on the performance of the friction pairs of ship power plants, separate tadali which is made of composite plastics, render settings quality of and accuracy, which are provided by machining. During the design and implementation process it is important to have criteria allows you to manage service-tion parameters of the friction

pair. The article presents a generic model of the quality status of the surface layer of the friction pairs of composites. This model includes the parameters: micro-surface geometry, geometric accuracy, technological residual stresses and elastic hopelessly deformation. To determine the technological residual stresses method of indentation diamond indenter into the surface layer, where on the chart the introduction of the diamond tip at different sites to determine the elastic and plastic components. Microgame-ry of the surface is determined by scanning a diamond indenter.

Ключевые слова: судостроение, качество поверхности, параметры микрогеометрии, точность формы, композиционные углепластики, ресурс, надежность сопряжений.

Key words: shipbuilding, surface quality, the parameters of the microgeometry, precision molds, composite plastics, resource, reliability mates.

НАИБОЛЕЕ перспективными материалами триботехнического назначения, созданными специально для работающих в воде нагруженных дейдвудных подшипников скольжения, являются композитные реактопласты, армированные угольными волокнами. Данные материалы обладают высокими эксплуатационными свойствами и имеют длительный ресурс по сравнению с металлами и их сплавами. Требования к антифрикционным характеристикам материалов определяются условиями эксплуатации работающих в воде узлов трения: контактным давлением и скоростью скольжения, материалом контртела, температурой воды, а также параметрами качества поверхностного функционального слоя деталей, подверженных механической обработке с удалением слоя материала

Одной из важнейших задач трибологии является комплексное количественное сравнение состояния поверхностного слоя изделий из композиционных углепластиков, полученных после применения различных видов механической обработки и после эксплуатации при трении [1]. Это состояние, зависит от большого числа факторов, которые имеют различную физическую природу. Из приведенных характеристик микрогеометрии и шероховатости применительно к формированию эксплуатационных свойств поверхностного слоя изделий наиболее информативными являются опорная линия и функция распределения ординат профиля [2], [3], упругопластические и реологические характеристики [3], [4]. Данный комплексный подход был предложен Д. В. Васильковым [2], [3] и далее развит применительно к трибосопряжениям в совместных работах [1], [5], [6].

Опорная линия $t_p(y)$ и функция распределения ординат $P(y)$ является функциями высоты микронеровностей y , которая изменяется от нуля на поверхности до R_{\max} в глубину. При сопоставлении профилей целесообразно перейти от физической координаты y к относительной координате $\phi = y/R_{\max}$. Упругопластические и реологические характеристики могут быть представлены тремя функциями: упругость $U(h)$, пластичность $L(h)$, ползучесть $R(h)$. Распределение указанных характеристик по глубине h аналогично микрогеометрии также целесообразно привести к безразмерному виду путем введения относительной координаты $\chi = h/h_{\max}$. Принятые относительные координаты ϕ и χ изменяются в интервале значений от нуля до единицы. Это дает основание использовать обобщенную относительную координату ζ глубины поверхностного слоя, изменяющуюся от нуля до единицы и отображающую координаты ϕ и χ .

Таким образом, можно сформировать обобщенную функциональную модель состояния поверхностного слоя изделия, включающую пять основных функций: $t_p(\zeta)$, $P(\zeta)$, $U(\zeta)$, $R(\zeta)$, $L(\zeta)$. Данная модель является *открытой*. Это означает, что она может быть дополнена другими функциями относительных координат, отображающими соответствующие свойства поверхностного слоя. При наличии этих основных функций можно восстановить все необходимые параметры микрогеометрии поверхности и напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя. Применительно к задаче сравнения состояния поверхностного слоя изделий из композиционных углепластиков данные функции являются таблично заданными, полученными в результате непосредственных измерений. Для сравнения и последующих вычислений целесообразно аппроксимировать их целыми рациональными функциями. Проанализировав характер изменения этих функций, отметим, что все они являются монотонными. По результатам многочисленных экспе-

риментов, представленных в работах [1], [3] опорная линия $t_p(\zeta)$ и функция распределения ординат профиля $P(\zeta)$ могут быть представлены гладкой кривой с одной точкой перегиба (рис. 1). Функции такого вида хорошо аппроксимируются полиномом третьей степени:

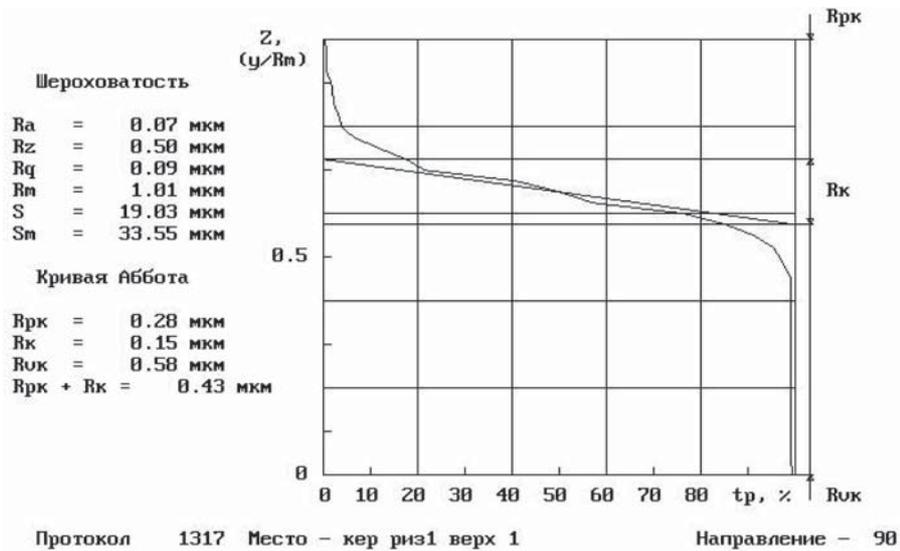
$$f(\zeta) = a_1 + a_2\zeta + a_3\zeta^2 + a_4\zeta^3, \quad (1)$$

где a_k ; $k = 1, \dots, 4$ — коэффициенты полинома.

Определение коэффициентов аппроксимирующей функции (1) осуществляется путем решения системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} c_1a_1 + c_2a_2 + c_3a_3 + c_4a_4 &= d_1; \\ c_2a_1 + c_3a_2 + c_4a_3 + c_5a_4 &= d_2; \\ c_3a_1 + c_4a_2 + c_5a_3 + c_6a_4 &= d_3; \\ c_4a_1 + c_5a_2 + c_6a_3 + c_7a_4 &= d_4, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $c_j = \sum_{i=1}^N \zeta_i^{j-1}$, $j = 1, \dots, 7$; $d_k = \sum_{i=1}^N \zeta_i^{j-1} f(\zeta_i)$, $k = 1, \dots, 4$; N — число отсчетов таблично заданной функции $f(\zeta)$.



Протокол 1317 Место – кер риз1 верх 1 Направление – 90

Рис. 1. Опорная кривая (шероховатости стандарт DIN 4776) t_p и кривая Аббота, определяющие основные эксплуатационные характеристики поверхности

Упругость $U(\zeta)$, ползучесть $R(\zeta)$ и пластичность $L(\zeta)$ формируются на основе силовой диаграммы внедрения алмазного индентора, при измерении микротвердости, приведенной на рис. 2 [4], [7] – [9]. Здесь упругость определяется участком OA диаграммы, ползучесть — участком AB , а пластичность — участком BC . Данные характеристики в пределах малых глубин внедрения индентора изменяются практически линейно. Поэтому они аппроксимируются линейными функциями, которые можно получить из формулы (1) при $a_3 = a_4 = 0$.

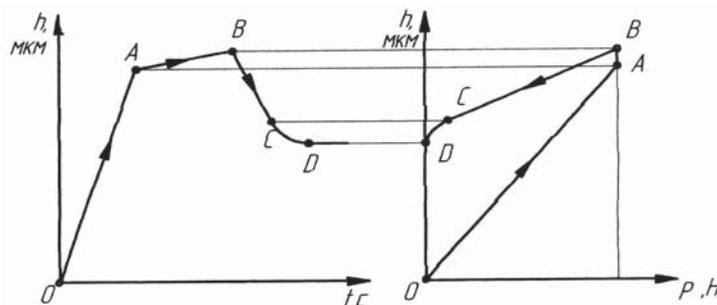


Рис. 2. Диаграммы внедрения алмазного индентора в поверхностный слой исследуемого композиционного материала после механической обработки

На основе ранее изложенного, уравнения, описывающие обобщенную функциональную модель состояния поверхностного слоя рассматриваемых изделий, можно представить в виде системы уравнений следующего вида [10]:

$$\left. \begin{aligned} t_p(\zeta) &= a_{1,1} + a_{1,2}\zeta + a_{1,3}\zeta^2 + a_{1,4}\zeta^3; \\ P(\zeta) &= a_{2,1} + a_{2,2}\zeta + a_{2,3}\zeta^2 + a_{2,4}\zeta^3; \\ U(\zeta) &= a_{3,1} + a_{3,2}\zeta; \\ R(\zeta) &= a_{4,1} + a_{4,2}\zeta; \\ L(\zeta) &= a_{5,1} + a_{5,2}\zeta; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где a_{ij} — коэффициенты аппроксимирующих функций, $i = 1, \dots, 5, j = 1, \dots, 4$.

Систему уравнений (3) целесообразно представить в матричном виде. Для этого введем в рассмотрение вектор состояния $R(\zeta)$, компонентами которого являются соответствующие функции модели состояния поверхностного слоя $R(\zeta) = [t_p(\zeta), P(\zeta), U(\zeta), R(\zeta), L(\zeta)]^T$.

Вектор состояния поверхностного слоя с учетом системы (3) можно записать в матричном виде:

$$R(\zeta) = A \cdot Z(\zeta), \quad (4)$$

где A — (5×4) — матрица коэффициентов a аппроксимирующих функций; $Z(\zeta) = [1, \zeta, \zeta^2, \zeta^3]^T$ — (4×1) — вектор.

На базе построенных моделей (4) состояния поверхностного слоя изделия рассмотрим три обобщенных критерия F качества: $F_I(\zeta)$, $F_{II}(\zeta)$ в виде функции и $F_{III}(\zeta)$ в виде функционала. Первым критерием $F_I(\zeta)$ качества поверхностного слоя является функция

$$F_I(\zeta) = F(\zeta) = M^T \cdot R(\zeta), \quad (5)$$

где M — (5×1) — вектор размерно-весовых коэффициентов, компоненты m_j которого определяются из выражения; $m_j = \mu_j \cdot \nu_j$; $j = 1, \dots, 5$; μ_j — коэффициенты приведения j -й функции состояния поверхностного слоя к безразмерному виду; ν_j — весовой коэффициент влияния j -й функции состояния поверхностного слоя на критерии качества применительно к данным функциональным свойствам (износостойкость, усталостная прочность и др.), величина которого определяется на основе эвристических оценок (по данным теоретических и экспериментальных исследований).

С учетом (4) критерий $F(\zeta)$ в функции (5) преобразуется к виду

$$F(\zeta) = M^T \cdot A \cdot Z(\zeta). \quad (6)$$

Второй критерий $F_{II}(\zeta) = D(\zeta)$ качества поверхностного слоя является также функцией от носительной координаты ζ и определяется как производная от критерия $F(\zeta)$ по этой координате:

$$D(\zeta) = M^T \cdot A' \cdot G \cdot Z'(\zeta), \quad (7)$$

где A' — (5×3) — матрица коэффициентов аппроксимирующих функций, получаемая из матрицы A вычеркиванием первого столбца; G — (3×3) — диагональная матрица коэффициентов со следующими отличными от нуля элементами $g_{i,j} = j$, $j = 1, \dots, 3$, где $Z'(\zeta)$ — (3×1) — вектор, получаемый из вектора $Z(\zeta)$ вычеркиванием последнего компонента.

Интегральный критерий $F_{III}(\zeta) = J$ качества поверхностного слоя является функционалом, скаляризирующим вектор состояния $R(\zeta)$ по глубине поверхностного слоя. Он получается интегрированием критерия $F(\zeta)$ по этой координате $\zeta \in [0, 1]$:

$$J = M^T \cdot A \cdot E \cdot I, \quad (8)$$

где E — (4×4) — диагональная матрица коэффициентов со следующими отличными от нуля, элементами $e_{i,j} = 1/j$, $j = 1, \dots, 4$, где I — (4×1) — единичный вектор, $i_j = 1$.

Полученные в выражениях (6) – (8) функции, описывающие критерии качества являются основой для комплексной оценки состояния поверхностного слоя изделий. При отработке новых технологий и непосредственном контроле состояния поверхностного слоя возникает необходимость оценки невязки по критериям качества. Степень близости критериев качества поверхностей

различных изделий к нормативным значениям будем определять с помощью равномерной и квадратичной метрики [3]. Равномерная метрика представляет собой выражения вида:

$$\left. \begin{aligned} \rho_p(F^{(1)}, F^{(2)}) &= \int_0^1 [F^{(2)} - F^{(1)}] d\zeta; \\ \rho_p(D^{(1)}, D^{(2)}) &= \int_0^1 [D^{(2)} - D^{(1)}] d\zeta; \\ \rho_p(J^{(1)}, J^{(2)}) &= J^{(2)} - J^{(1)}, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где $F^{(1)}, F^{(2)}, D^{(1)}, D^{(2)}, J^{(1)}, J^{(2)}$ — F -критерии качества двух сравниваемых поверхностей.

Квадратичная метрика представляет собой выражения, аналогичные (9), и имеет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \rho_k(F^{(1)}, F^{(2)}) &= \int_0^1 [F^{(2)} - F^{(1)}]^2 d\zeta; \\ \rho_k(D^{(1)}, D^{(2)}) &= \int_0^1 [D^{(2)} - D^{(1)}]^2 d\zeta; \\ \rho_k(J^{(1)}, J^{(2)}) &= [J^{(2)} - J^{(1)}]^2. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Равномерные метрики являются знакозависимыми. Они определяют не только расстояние между критериями, но и направление отклонений. Квадратичные метрики предпочтительнее применять в случаях, когда необходимо оценить только величины отклонений между критериями. На основе равномерных (9) и квадратичных (10) метрик можно сопоставить ряд технологических процессов, образующих некоторое множество. Расстояние между критериями позволяют выявить эквивалентные технологические процессы, а также выбрать технологии и режимы, приводящие к требуемому улучшению состояния поверхностного слоя.

Предложенная обобщенная функциональная модель состояния поверхностного слоя изделия, выполненного из композиционного углепластика, позволяет инвариантно сопоставить его различные характеристики и комплексно оценить эксплуатационные свойства исследуемых поверхностей после механической обработки и поверхностей трения.

Представленная обобщенная модель качества и детально разработанные алгоритмы [10] на базе современных измерительно-вычислительных комплексов, позволяют синтезировать рациональную по условиям эксплуатации изделий из композиционных материалов микрогеометрию поверхности, а также уровень технологических остаточных напряжений в механически обработанном материале поверхностного функционального слоя. При выполнении оптимизационных процедур можно получить и реализовать в рамках эффективных алгоритмов оценки параметрических характеристик и характеристик микрогеометрии по стандарту DIN 4776 [3].

Список литературы

1. Васильков Д. В. Обеспечение стабильности качества поверхностного слоя изделий при механической обработке на основе оптимизационного проектирования / Д. В. Васильков, А. В. Валетов, А. Е. Кочура, В. М. Петров // Межвуз. сб. науч. тр. — Вып. 11. — СПб.: СЗПИ, 1998. — С. 78–83.
2. Васильков Д. В. Теория и практика оптимизационного проектирования механической обработки маложестких заготовок: дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 / Д. В. Васильков. — Государственный технический университет (ГТУ). — СПб., 1997. — 426 с.
3. Васильков Д. В. Динамика технологической системы при обработке маложестких заготовок / Д. В. Васильков, В. Л. Вейц, П. А. Лончих. — Иркутск: Иркут. ун-т, 1994. — 98 с.

4. *Петров В. М.* Повышение эффективности обработки лезвийным инструментом на основе учета физико-механических характеристик материалов: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / В. М. Петров. — ПИМАШ. — СПб., 1995. — 224 с.

5. *Петров В. М.* Оценка шероховатости точеной поверхности деталей выполненных из композиционных углепластиков / В. М. Петров // Междунард. науч.-практ. конф. «Качество поверхностного слоя деталей машин». — СПб., 24–26 июня 2003. — С. 138–143.

6. *Петров В. М.* Применение модификаторов в узлах машин для решения триботехнических задач / В. М. Петров. — СПб.: СПбГПУ, 2004. — 282 с.

7. *Петров В. М.* Исследование упруго-пластических характеристик поверхностного слоя материалов методов микротвердости / В. М. Петров, Д. В. Васильков // Межвуз. сб. науч. тр. — Вып 1. — СПб: СЗПИ, 1995. — С. 99–109.

8. *Петров В. М.* Новый автоматизированный комплекс измерения микротвердости и других физико-механических параметров поверхностного слоя деталей машин / В. М. Петров // Динамика виброактивных систем // Межвуз. сб. науч. тр. — Иркутск: Иркут. ун-т, 1994. — С. 37–46.

9. *Абозин И. Ю.* Некоторые вопросы механической лезвийной обработки углепластиков / И. Ю. Абозин, В. М. Петров // Вопросы материаловедения: науч.-техн. журнал. — 2001. — № 2 (26). — С. 86–93.

10. *Петров В. М.* Управление процессами контактного взаимодействия элементов трибосопряжения машин и технологических систем путем применения активных сред: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.04 / В. М. Петров. — ПИМАШ. — СПб., 2004. — 335 с.

ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

УДК 656.1

А. Л. Кузнецов,
д-р техн. наук, проф.

А. Кайзер,
преп.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СУДОПОТОКА И ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ В ПОДХОДНОМ КАНАЛЕ МОРСКОГО ПОРТА

A SIMULATION TECHNIQUE FOR THE PORT TRAFFIC AND DREDGING IN ITS APPROACHING CHANNEL INTERFERENCE ASSESSMENT

Дано описание обобщенной концептуальной модели первого уровня, отражающей общий подход к решению задачи составления оптимального расписания дноуглубительных работ в подходном канале произвольного морского порта. Оптимизация расписания состоит в минимизации потерь как следствия появления взаимных помех между операциями по обработке судов в порту и работами по дноуглублению в его подходном канале. Цель модели — возможность получить объективную оценку взаимного влияния заданного трафика судов и дноуглубительных работ в подходном канале порта. Эта оценка, в свою очередь, позволяет предложить объективную методику оптимизации расписания дноуглубительных работ путем его координации с прибытием в порт судов, движущихся по расписанию или в случайном порядке.

The paper introduces a simplified (first level) model designated to demonstrate the general approach to the problem of the development of the schedule for dredging work to be conducted in the approaching channel to a port which would minimize the losses connected with its interference with the port traffic. The goal of the model development is to provide a way how mutual interdependency of the port traffic and dredging activity in a port approaching channel could be assessed. This assessment in its turn will enable to optimize the time schedule of dredging works by coordination them with a given schedule or random pattern of ship arrivals.

*Ключевые слова: имитационное моделирование, развитие порта, оптимизация, дноуглубление.
Key words: simulation, port development, optimization, dredging.*

Introduction

Seaports are the most critical infrastructural links in the operations of logistic chains [1], [2]. A port must maintain its operability all the time, since any small break would send a heavy shockwave along the whole delivery network connected to it. On the other hand, the port needs to develop constantly to comply with the shipowners' demands to introduce vessels of permanently growing size and handling them in the shortest time possible. This contradiction boosts the importance of the investment program as a part of port management, in order to enhance its availability and competitiveness. Simple and short-term modernization works might not affect the port operation significantly, while long-term activities dramatically reduce its efficiency, which necessitates a sophisticated planning.

Dredging is a rather frequent and important aspect of port development strategies. A thorough analysis of several factors is required to conduct beforehand, among them the vessel traffic, the proper type of equipment and the level of its efficiency. High costs of dredging pair with the costs of losses of port operators and shipowners incurred by vessels waiting in queues to pass the areas of development works. To optimize the efficiency of a dredging project it is necessary to assess the interference between the dredging activity schedule and traffic pattern in terms of the costs. This paper presents a simulation model which enables to estimate this impact of dredging activities on the vessel traffic in the port and thus provides a way to find a required balance.

Description of the model

Let us assume that there is an abstract entrance channel leading from the entrance buoy to the port. For the sake of simplicity in the description below we will deal only with the ships entering the port, since the introduction of the reversed ship flow introduces no difficulties in the model realization.

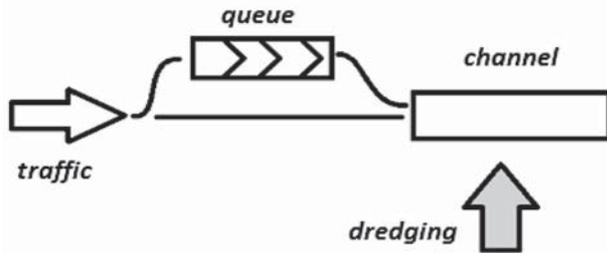


Fig. 1. Graphical model of the traffic and dredging interference

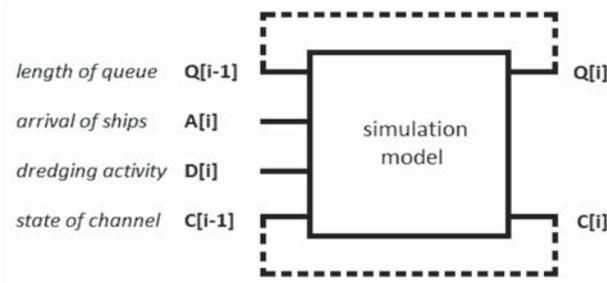


Fig. 2. Discrete time simulation model of the traffic and dredging interference

The channel in some periods of time might be blocked by the dredging works performing in it. In this case a ship arrived to port will join the queue in front of the entry point of the channel (anchorage) waiting for the break in dredging works. This is displayed by Fig. 1.

A simplified discrete time event simulation model for this case is shown by the Fig. 2.

The state of the model at any time interval (i) is defined by the number of ships arrived to the entrance buoy, number of ships waiting in the queue and these entered the approaching channel. In other words, the state of the model is determined by the state and events at the previous interval (i-1). These reason-sequence connections could be described by the following rules:

Entrance channel: if there is no dredging activity in the channel, the ship waiting in the queue or just arrived to the port could enter the channel. If there is the dredging activity, no ship can move.

Anchorage queue: if a ship entered the entrance channel, the queue length is diminished by 1, if it was not zero. If a new ship arrived to the port and did not pass straight to the channel, the

queue length is increased by 1.

The logic of this mechanism is shown by Fig. 3.

The state of the model at every time quantum [i] is described by two variables: length of the queue Q[i] and the number of ships in the approaching channel C[i]. These state depend on the values of those variables at previous quantum [i], i.e. Q[i-1] and C[i-1]. In additions, the current state of the model is affected by external events of two categories: the ship arrival at this quantum A[i] and the dredging activity at this quantum D[i], blocking the approach channel for ships.

The pattern of ships arrival and the schedule of dredging activity form to reference flow of events, causing the state of the model to change by time. This changing of the state by time is the dynamic behavior of the system under study. An example of this behavior is given by Tab. 1.

Table 1

Discrete time simulation model for given arrival and dredging schedule

| Time | (i-1) | (i) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------|-------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Arrival to entrance buoy | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Anchorage queue | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Entrance channel | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Dredging activity | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |

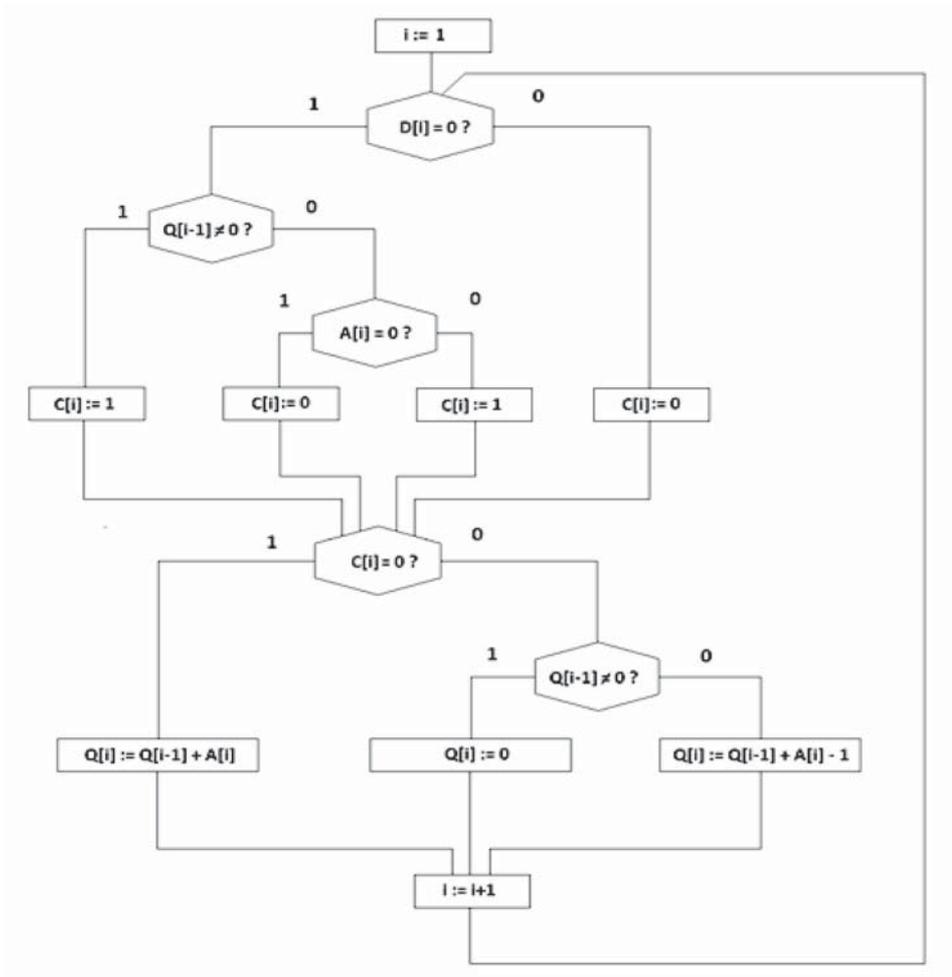


Fig. 3. Simplified inner algorithm of the model

As this figure shows, the interference of traffic and dredging leads to appearance of the queue. The length of this queue as the function of time is given by Fig. 4.

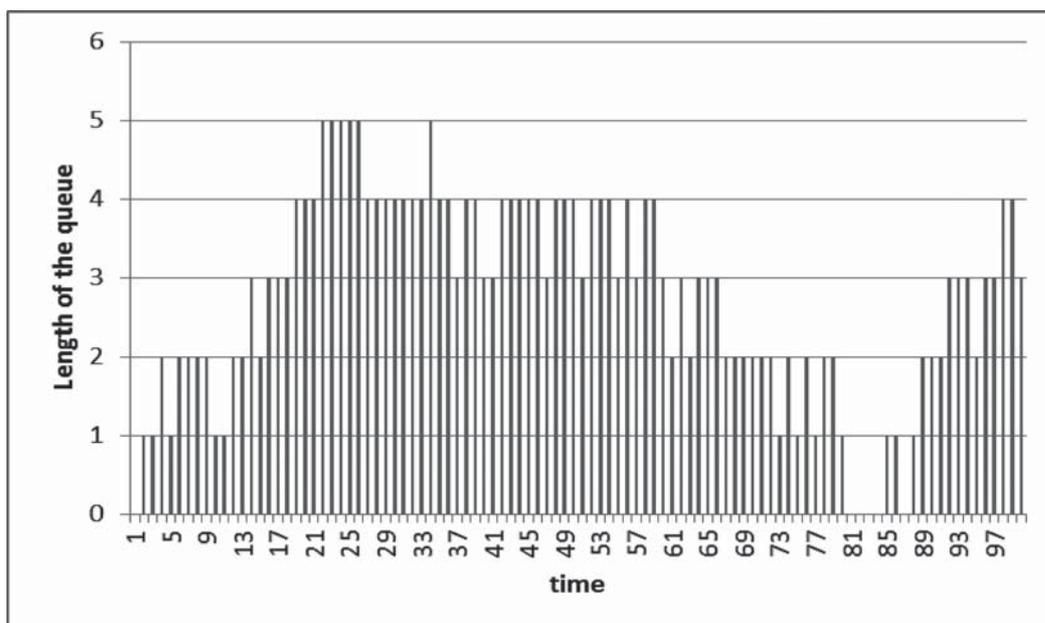


Fig. 4. Length of the queue caused by the interference

The waiting time in the queue is connected with direct financial losses for the ship owner and indirect losses for port operator. In order to make a judgment about these losses, it is necessary to estimate the cost of dredging activity under different scenarios.

Cost of dredging works

Let us assume that we know the unit (say, hourly) constant cost of dredging (working or not), the unit variable costs (when working), the cost of moving the dredging caravan to and from the site of activity. Let us assume that these costs are as given by Tab. 2.

Table 2

Costs example

| Specification | Value | Unit |
|---------------------|-------|--------------|
| unit constant cost | 10 | [money/hour] |
| unit variable cost | 10 | [money/hour] |
| unit cost of moving | 500 | [money/move] |

For the sake of simplicity here let us assume that we plan a dredging activity module of the schedule as given by Tab. 3.

Table 3

An example of dredging schedule module

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

The module presented by this figure consists of 10 hours, 5 of which are working and another 5 are idle. This particular schedule required 4 moves of the dredging caravan to the site of activity and 4 moves back. The cost calculation for this module in some arbitrary monetary units is given by Tab. 4.

Table 4

Cost calculation for the example of dredging schedule module

| Specification | Amount | Cost |
|------------------------------------|--------|------|
| Number of hours | 10 | 100 |
| Number of working hours | 5 | 50 |
| Number of moves | 8 | 4000 |
| Dredging work utilization and cost | 0,5 | 4150 |

If we know the total amount of working hours required to perform the dredging task, it is possible to calculate the amount of modules needed and, eventually, the cost of the total dredging mission. For the given example these calculations are displayed by Tab. 5.

Table 5

Cost calculation of dredging

| | | |
|----------------------------------|------|--------|
| TOTAL COST OF MODULE | | 4150 |
| REQUIRED AMOUNT OF WORKING HOURS | 1000 | |
| NUMBER OF MODULES NEEDED | 200 | |
| COST OF DREDGING WORKS | | 830000 |

It is clear that the calculated cost depends on the amount of working hours in this 10-hour module and number of the caravan moves. This dependency is illustrated by Tab. 6 and Fig. 5.

Table 6

Cost of dredging as function of working hours and moves

| Cost of dredging | | Number of caravan moves | | | | |
|--------------------------------|----|-------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Working hour in 10-hour module | 1 | 1110000 | | | | |
| | 2 | 560000 | 1060000 | | | |
| | 3 | 376666 | 710000 | 1043333 | | |
| | 4 | 285000 | 535000 | 785000 | 1035000 | |
| | 5 | 230000 | 430000 | 630000 | 830000 | 1030000 |
| | 6 | 193333 | 360000 | 526666 | 693333 | |
| | 7 | 167143 | 310000 | 452857 | | |
| | 8 | 147500 | 272500 | | | |
| | 9 | 132222 | | | | |
| | 10 | 120000 | | | | |

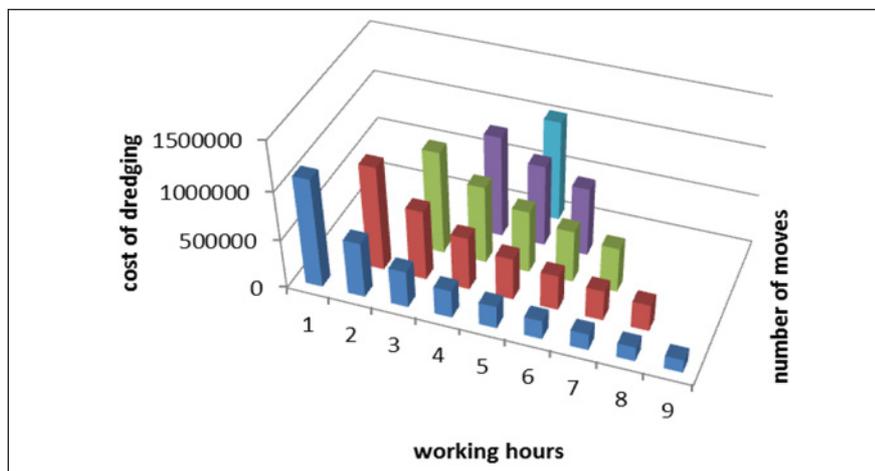


Fig. 5. Graph of the cost of dredging as function of working hours an moves

Different utilization of module time resource and different organization of continue work periods would leave to different costs of dredging.

In the same time, experiments with the model will enable to assess total time ships spend in the queue (Fig. 6).

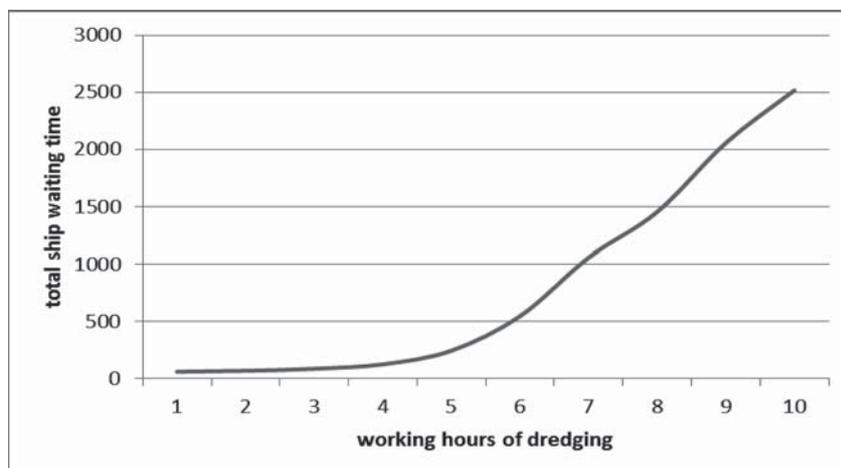


Fig. 6. Total time ships spend in the queue

If the cost of a ship hour is known, it makes possible to calculate the ship losses. The multiple and detailed study of different scenarios will enable to compare the costs with the losses caused by the ship waiting time.

Planning of the experiments with the model

Principally, there is a wide specter of possible variants with different combinations of traffic patterns and dredging scheduling.

On one side of this specter there is a solution when all the traffic is hold until the dredging works are over. In this case the cost of the dredging works is minimal, but the traffic losses are maximal.

On the other side of this specter there is a solution when the dredging activity is performed so that it does not affect the port traffic, i.e. the dredging is performed only in the time intervals between the ship arrivals long enough to do it. In this case the traffic is not affected by the dredging, but the dredging works will take a longer time and cost more.

Between these two extreme variants there is an optimal solution - optimal in the sense of selected economic criteria and under existing technological restrictions.

Dredging priority

This variant does not require any specific simulation, since the scenario simply implies that all the ships are not permitted to enter the port, they will have to wait in the outer anchorage or not call at the port at all. Still, the simulation in this case could give an informative picture about the losses caused by this situation. An example of simulation of this scenario is given by Fig. 7.

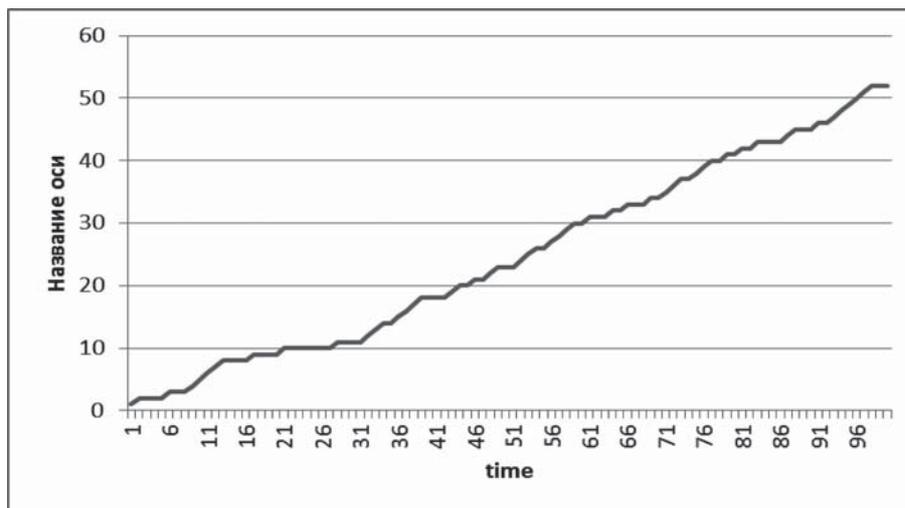


Fig. 7. Growth of the queue length in case of traffic ban

The area under the curve on this figure gives the total amount of hours ships (bound to call at the port by the schedule) spent in the queue. In this example it is 2468 hours.

The cost of dredging in this case is easy to calculate multiplying the unit hour cost (constant plus variable) by total amount of hours needed to perform dredging and adding two move costs of the dredging caravan (21000 of arbitrary monetary units only), thus also needing no simulation.

Traffic priority

The dredging in this case would be performed only when there long enough time period free of passing ships. In case of the scheduled traffic pattern this variant also does not require any simulation, since the schedule gives the possibility to calculate the total time available for dredging and number of moves for the caravan during the module of schedule. In its turn, this enables to calculate the required amount of these modules and calculate the total cost of the dredging works as was explained above.

If the arrival pattern is random (stochastic), then the simulation experiments are needed to determine the actual number of intervals and their length available to perform the dredging works, as Fig. 8 shows.

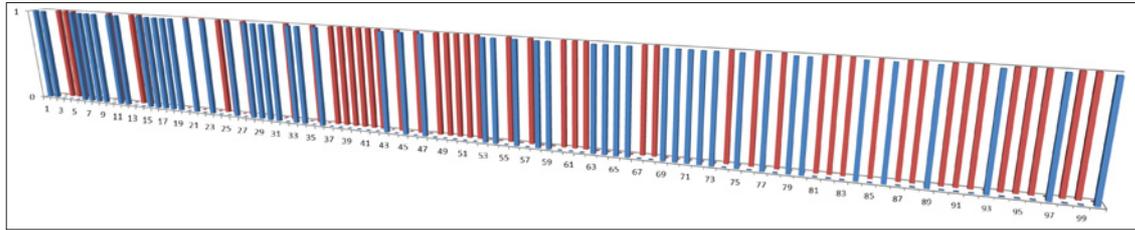


Fig. 8. Intervals allowing dredging defined by simulation of ship arrivals

In this example dredging is permitted for 50 hours out of 100 and requires 52 moves of the caravans. The calculation of the total dredging work's cost in the similar way as described above would give the results presented by Tab. 7.

Table 7

Calculation of the dredging costs with the traffic priority

| Specification | Value | Unit |
|----------------------------------|--------|--------------|
| Unit constant cost | 10 | [money/hour] |
| Unit variable cost | 10 | [money/hour] |
| unit cost of moving | 500 | [money/move] |
| Specification | Amount | Cost |
| Number of hours | 100 | 1000 |
| Number of working hours | 50 | 500 |
| Number of moves | 52 | 26000 |
| Dredging work utilization | 0,5 | 27500 |
| TOTAL COST OF MODULE | | 27500 |
| REQUIRED AMOUNT OF WORKING HOURS | 1000 | |
| NUMBER OF MODULES NEEDED | 20 | |
| COST OF DREDGING WORKS | | 550000 |

As this figure shows, the total cost is 550000 arbitrary monetary units, thus being 25 times higher than one in the case of dredging priority.

The practically significant experiments should involve a longer schedule modules and more realistic data on duration and unit costs of dredging works. A sample of simulation with a 24-hour schedule module for one week period is presented on Fig. 16.

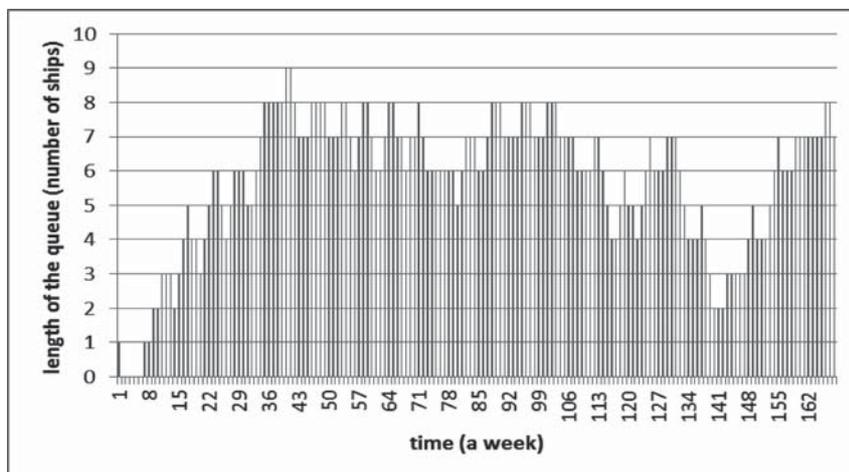


Fig. 9. Weekly queue dynamics caused by a given 24-hours schedule of dredging

Ship arrival pattern

Many studies were taken to find a best way to describe the ship arrival patterns for different cargos and different port statuses [3] – [5]. This paper does not concern this very specific and complicated topic. For the sake of universality it is assumed that the ship arrival intervals would be governed by Erlang distributions of any given order. The higher is the order of Erlang distribution, the lower is the dispersion of the random values around the mean value. The Erlang distribution of the first order is totally random and coincide with one of Poisson. The distributions of higher orders come closer and closer to regular intervals.

Thus, the Erlang distributions are the most common ones for description of any ship traffic patterns at early stages of the study [6] – [10]. With more knowledge about the traffic some other probability laws could be introduced as well as specific determined schedules of the ships arrivals.

The examples of these distributions with different orders and the same mean values are given by Fig. 10.

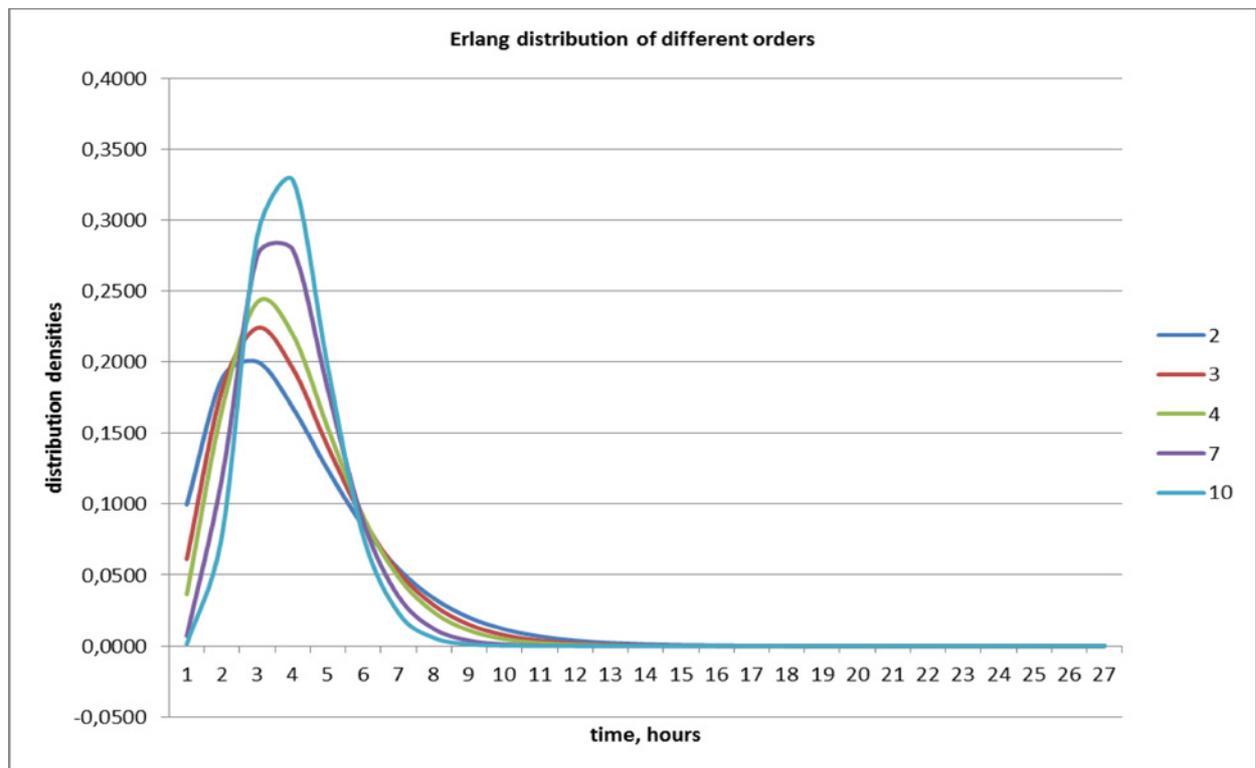


Fig. 10. Erlang distribution probability densities of different order

Fig. 11 shows the examples of ship arrivals generated for Erlang 2 distribution (random, above) and Erlang 20 one (more regular, below).

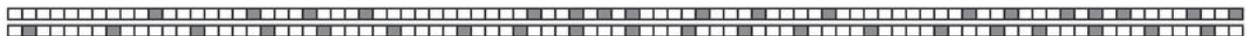


Fig. 11. Ship arrival intervals generated by Erlang 2 and Erlang 20 distributions

A single experiment with a selected Erlang distribution for different dredging time utilization levels enables to assess the ship time wasted in the queue (Fig. 12).

In the same time, for every level of dredging time utilization it is possible to calculate the cost of dredging as described above (an example is given by Fig. 13).

If the ship hour cost can be estimated, Fig. 12–13 provide the classical optimization task for selecting the best scenario of dredging activity, illustrated by Fig. 14.

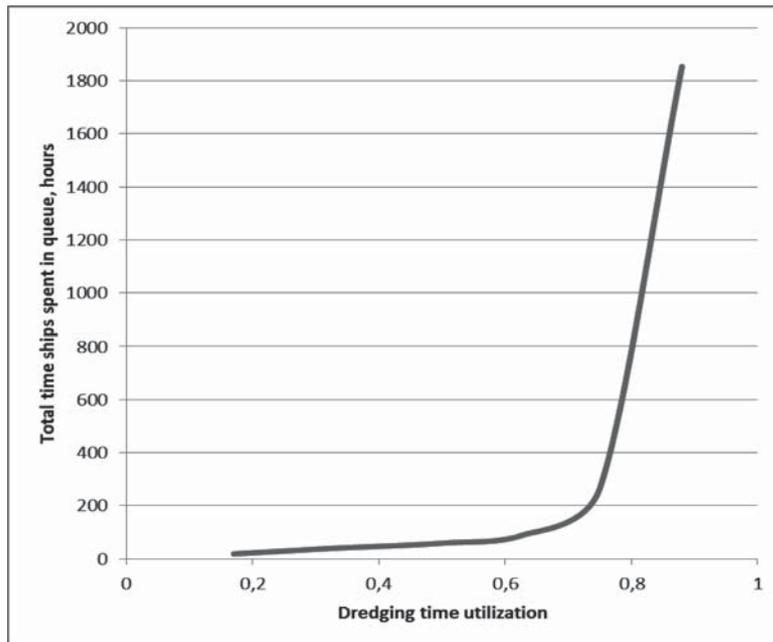


Fig. 12. Ship time lost in the queue

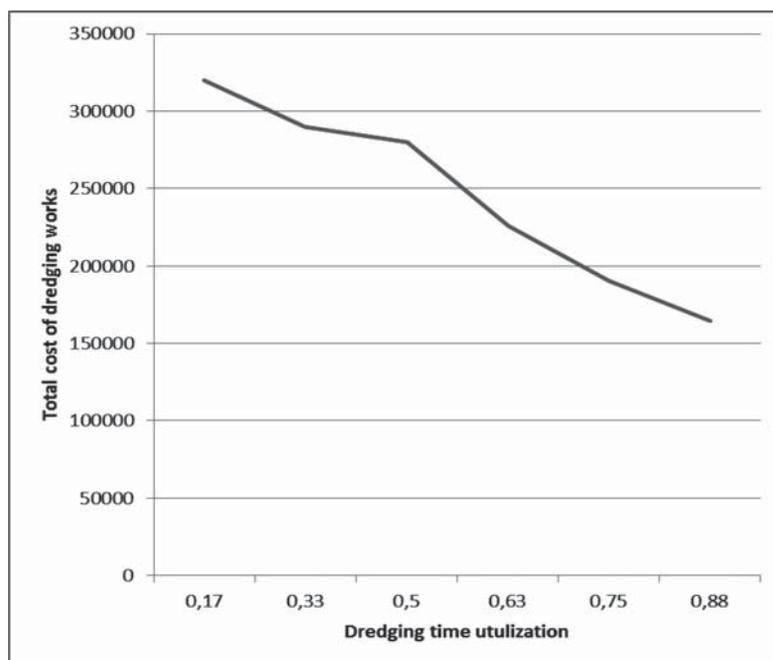


Fig. 13. The total cost of dredging for different time utilization

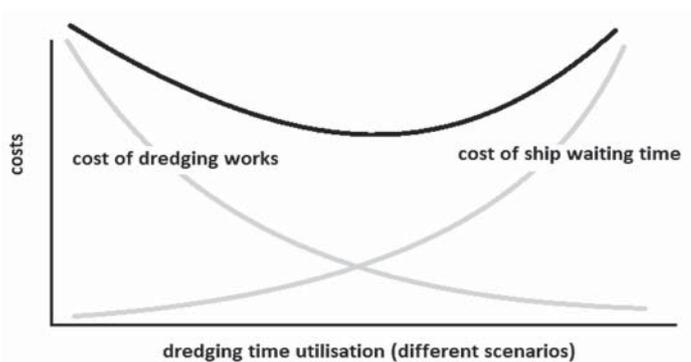


Fig. 14. The idea of optimization task

Conclusions

A simulation model is introduced to describe the way how the assessment of mutual interdependency of the sea traffic and dredging activity in a port approaching channel could be made.

This model enables to assess the ship losses caused by the time spent in the queue while the dredging works are performed.

A way to calculate the total dredging works' cost in different scenarios of their scheduling is presented.

It is shown how simulation performed for different scenarios could help to optimize the time schedule of dredging works by coordination them with a given schedule or random pattern of ship arrivals.

Bibliography

1. Dredging, a handbook for engineers, 1996, 434 pp., Elsevier Butterworth Heinemann, ISBN: 978-0-340-54524-9.
2. Port development. A handbook for planners in developing countries. Second edition. UNCTAD, NY, 1985, ISBN 92-1-112160-4.
3. Alexander Kuznetsov et al. Simulation as an integrated platform for container terminal development life-cycle The proceedings of the 13th International conference on Harbor Maritime Multimodal Logistics Modeling and Simulation, Fez, October 2010, ISBN 2-9524747-4-5, p.159-162.
4. A guide to cost standards for dredging equipment, 2009, 62 pp. - CIRIA - ISBN: 978-0-86017-684-8.
5. Trailing Suction Hopper Dredging Handbook. Issued by The Training's Institute for Dredging. Coastal and Deep Ocean Dredging, John B. Herbich, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, USA, 1975.
6. Dredging and Dredging Equipment, R.J. de Heer and Rochmanhadi, part 1 and 2, IHE, Delft, 1989.
7. Baggertechnik, collegedictaat f14, G.L.M. van der Schrieck, TU Delft, Civiele Techniek, 1996.
8. Constant Tonnage Loading System of Trailing Suction Hopper Dredgers, J. de Koning, Proceedings International Course Modern Dredging, 1977.
9. Nassbaggertechnik, A. Welte, Institut für Maschinenwesen in Baubetrieb, UniversitätFridericiana, Karlsruhe, 1993.
10. Further development of loading and unloading processes for Trailing Suction Hopper Dredgers, S. Steinkühler, 14 World Dredging Congress, Amsterdam, 1995.

УДК 629.12

О. В. Соляков,
канд. техн. наук, доц.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОГО СУДОХОДСТВА НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЯ

PROTECTION OF SAFETY NAVIGATION ON THE INLAND WATERWAYS WITH USING NAVIGATION CONSUMER EQUIPMENT

В настоящей статье представлено решение комплексного подхода использования путевых точек в навигационной аппаратуре потребителей (Д) ГНСС ГЛОНАСС/GPS для обеспечения безопасного перехода судна по внутренним водным путям. Рассмотрены последние изменения в Кодексе внутреннего водного транспорта, касающиеся «порядка планирования рейса судна и обеспечения безопасности его плавания», которые дела-

ют более актуальным решение использования путевых точек на маршрутах плавания, что позволяет снизить риски выхода судна за пределы судового хода и обеспечить более точное прогнозирование перехода судна по маршрутам во избежание простоев судов перед гидротехническими сооружениями с целью повышения экономической эффективности работы флота и снижения рисков экологической безопасности судоходства.

This article presents a solution approach using waypoints in the navigation apparatus of consumers (D) GNSS GLONASS/GPS to provide the safety ship's passage on the inland waterways. The last changes in the Code of the inland water transport was examine, relative of «order planning ship's voyage and safety passage», which doing more actual the solution to use waypoints on the navigation routes, that allow to reduce the risks of the vessel to go outside the fairway and to provide a more accurate prediction of ship's passage during voyages to avoid ship's delays before hydraulic facilities, increasing the economic efficiency of the fleet and reduce the risks of environmental safety during shipping.

Ключевые слова: внутренние водные пути, внутренний водный транспорт, безопасность на внутренних водных путях, глобальные навигационные спутниковые системы.

Key words: inland waterways, inland water transport, safety on the inland waterways, global navigation satellite systems.

ТОЧНОЕ нахождение судна на оси судового хода внутренних водных путей (ВВП) обеспечивает судоводителю безопасное судовождение. В целях обеспечения безопасного судовождения на ВВП Министерство транспорта РФ приказом № 280 от 16.12.2010 г. «О реализации постановления Правительства Российской Федерации от 12 августа 2010 г. № 623 «Об утверждении технического регламента о безопасности объектов внутреннего водного транспорта» определило, что в состав средств навигационного оборудования судов внутреннего водного транспорта: пассажирских, перевозящих опасные грузы, независимо от вместимости, самоходных транспортных судов классов «М» и «О» валовой вместимостью 300 рег. т и более должна быть включена следующая аппаратура:

– приемоиндикаторы глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) ГЛОНАСС или / ГЛОНАСС GPS с возможностью приёма дифференциальных поправок;

– судовой транспондер автоматической информационной системы (АИС) до даты первого классификационного освидетельствования органом классификации после 1 июля 2012 г., но не позднее 31 декабря 2013 г. [1].

Из проведенных натурных испытаний на ВВП только за последние 2008–2014 гг. следует, что точность определения навигационного объекта, даже с использованием дифференциального режима локальной контрольно-корректирующей станции (ККС), особенно на затрудненных участках, не удовлетворяет требованиям безопасного судовождения. В данном случае под *затрудненными участками* подразумеваются участки, где среднеквадратичная погрешность (СКП) не превышает границы безопасного прохода судна, а именно участки прохождения мостов, перекатов и подходы к гидротехническим сооружениям [2], [3]. Для этого необходимо решить комплекс задач, связанных с обеспечением необходимых точностных характеристик на требуемых участках ВВП РФ:

1. Необходимо обеспечить требуемую точность на основе национальных и международных требований к навигационной аппаратуре потребителей (НАП) и ККС.

2. Определить районы ВВП, где необходимо обеспечить высокую точность позиционирования навигационного объекта.

3. Создать базы маршрутов плавания на ВВП.

Повышение точности позиционирования НАП (Д) ГНСС ГЛОНАСС/GPS на сложных участках в динамике с использованием дифференциального режима можно обеспечить за счет передачи данных по фазе несущей в реальном времени, по методу «Кинематика в реальном времени» *Real Time Kinematic* (RTK).

Для этого необходимо иметь на берегу базовую станцию с антенной и модулем приема сигналов ГНСС ГЛОНАСС/GPS и радиоантенну с направленным углом действия для уменьшения потери мощности. На судне необходимо иметь НАП (Д) ГНСС ГЛОНАСС/GPS с антеннами при-

ема сигналов от береговых радиомаяков в диапазоне СВ частот 283,5–325,0 кГц с дискретностью 500 Гц и УКВ частотами 433,92 МГц $\pm 0,2\%$ [4], [5].

На участках водного пути, где точность с применением дифференциального режима при предельной погрешности определения координат судна $P = 0,95$ СКП = 1 – 5 м приемлема для безопасного судовождения, достаточно будет использовать сигналы локальных ККС. Для участков, где требуется сантиметровая точность, необходимо применять режим РТК.

Известно, что точностные характеристики позиционирования на маршрутах перехода достигаются путем совершенствования системы позиционирования НАП, которая зависит от следующих факторов:

- надежности работы ГНСС ГЛОНАСС/GPS и их функциональных дополнений;
- условий приема спутниковых сигналов и средневолновых сигналов контрольно-корректирующих станций;
- методик обработки полученных сигналов НАП;
- методов создания маршрутов плавания судна.

Использование маршрутных координат в НАП (Д) ГНСС ГЛОНАСС/GPS для внутреннего водного транспорта является лоцманской проводкой, для которой важны следующие основные навигационные элементы (таблица):

- допустимое отклонение судна от оси судового хода;
- знание километража судового хода, на котором находится судно;
- определения точного местоположения судна.

Набор путевых точек на маршруте Москва — Санкт-Петербург

| Номер WP | КМ | Широта ПТ | Долгота ПТ | СКП(σ), м | Комментарии | Количество координатных точек |
|---------------------------------------|-------|--------------|---------------|--------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| 1 | | 56 00,8676 N | 037 37,4773 E | 1,57 | | |
| 2 | | 56 01,0014 N | 037 37,5677 E | 1,57 | | |
| 3 | | 56 01,1908 N | 037 37,8153 E | 1,57 | | |
| 4 | | 56 01,2928 N | 037 38,0868 E | 1,57 | | |
| 5 | | 56 01,3561 N | 037 38,4524 E | 1,20 | WP 1 — 5 кривой участок | 440 |
| 6 | | 56 01,4727 N | 037 39,3257 E | 1,20 | WP 5 –6 прямой участок | 267 |
| ... | | | | | | |
| 22 | 93,3 | 56 10,0506 N | 037 30,7007 E | 1,37 | WP 18 — 22 кривой участок | 1518 |
| Шлюз № 6 канала им. Москвы (93,3 км) | | | | | | |
| 23 | | 56 10,2378 N | 037 30,7429 E | 0,74 | | |
| 24 | 95,4 | 56 11,1036 N | 037 31,2537 E | 0,74 | WP 22 — 24 прямой участок | 952 |
| Шлюз № 5 канала им. Москвы (95,4 км) | | | | | | |
| 25 | | 56 11,2623 N | 037 31,3820 E | 1,14 | | |
| 26 | | 56 11,8659 N | 037 31,7840 E | 1,14 | | |
| ... | | | | | | |
| 30 | | 56 14,7193 N | 037 31,9083 E | 1,14 | | |
| 31 | 103,3 | 56 15,1506 N | 037 31,3058 E | 1,14 | WP 25 — 31 кривой участок | 2358 |
| Шлюз № 4 канала им. Москвы (103,3 км) | | | | | | |
| 32 | | 56 15,5523 N | 037 30,6355 E | 0,80 | WP 31–32 прямой участок | 498 |

Для создания маршрутов перехода судна обычно используются следующие методы ввода путевых точек (ПТ). В приведённой таблице приведены наборы ПТ с результатами обработки и корректуры КТ на маршруте ВВП Москва — Санкт-Петербург.

1-й метод. Создание ПТ по координатным точкам (широта φ и долгота λ), снятым с карты. В данном случае погрешность ПТ определяется точностью и масштабом навигационной карты, которые должны иметь координатную сетку.

2-й метод. Создание ПТ в системах отображения электронных навигационных карт и информации (СОЭНКИ) с помощью электронной карты. Для этого метода существуют ограничения, связанные с точностью и масштабом электронной карты и наличием СОЭНКИ, которые устанавливаются на крупнотоннажных речных судах.

3-й метод. Создание ПТ в НАП ГНСС с сохранением их текущих координат непосредственно в памяти приемника.

Ввод текущих путевых точек для создания маршрута плавания непосредственно с использованием НАП (режим MARK или WP), в отличие от морских условий, нельзя рекомендовать для ВВП в силу целого ряда причин, основными из которых являются дополнительные погрешности управления судном и большое количество путевых точек на маршруте.

Учитывая существующее состояние картографического обеспечения ВВП, использование НАП Д (ГНСС) ГЛОНАСС/GPS представляется возможным только в комплексе с установкой СОЭНКИ.

4-й метод. Создание ПТ методом обработки и корректуры координатных точек (КТ). (Подробно рассмотрено в [6] – [8]).

Этот метод обеспечивает высокую экономическую эффективность создания библиотек маршрутов, но представляется достаточно трудоемким процессом для судоводительского состава, особенно с учетом частой корректуры путевых условий. Поэтому целесообразно, чтобы наборы ПТ и маршруты рассматривались в качестве самостоятельного продукта картографического обеспечения ВВП.

Следует отметить, что разработка и корректура электронных навигационных карт представляется значительно более сложной и менее оперативной процедурой в отличие от создания маршрутов плавания для ВВП. Возможности широкого автономного внедрения НАП и систем управления траекторией на судах смогут обеспечить использование набора путевых точек как самостоятельного продукта картографического обеспечения ВВП.

Представленный в настоящей статье комплексный подход позволит решить важный вопрос для судоводителя, требуемый на федеральном уровне в «Кодексе внутреннего водного транспорта РФ», ст. 34.1 «Система управления безопасностью судов» п. 12 «порядок планирования рейса судна и обеспечения безопасности его плавания» на разных по сложности участках ВВП с использованием НАП (Д) ГНСС ГЛОНАСС/GPS, что позволит снизить риски выхода судна за пределы судового хода, обеспечит более точное прогнозирование его перехода по маршрутам, во избежание простоев судов перед гидротехническими сооружениями, повысит экономическую эффективность работы флота и уменьшит риски экологической безопасности судоходства [9], [10].

Список литературы

1. Приказ Министерства транспорта РФ № 280 от 16.12.2010 г. «О реализации постановления Правительства Российской Федерации от 12 августа 2010 г. — № 623.
2. Соляков О. В. Концептуальный подход использования спутниковой навигации на внутренних водных путях / О. В. Соляков // Тез. докл. третьей Международ. конф. по развитию портов и судоходства. Круглый стол «Развитие судоходства по внутренним водным путям России», 3 октября 2012 г., ЛЕНЭКСПО, СПб., Россия. — СПб.: СПб.ГУВК, 2012. — С. 55–58.

3. Соляков О. В. Спутниковые технологии в автоматизированных системах управления движением судов на внутренних водных путях. Forum of Young Maritime Leaders «Abstracts of papers» / О. В. Соляков // Тез. докл. Форума молодых морских лидеров, 01 июня 2012 г., Центральный морской музей, СПб., Россия. — СПб.: СПбГМТУ, НТОС им. акад. А. Н. Крылова, 2012. — С. 113–116.

4. Зуев В. Ф. Основные аспекты повышения точности местоопределения судов на сложных участках внутренних водных путей / В. Ф. Зуев, О. В. Соляков // Журнал университета водных коммуникаций. — 2012. — № 3. — С. 160–164.

5. Гусев А. К. Требования к спутниковому позиционированию на внутренних водных путях России / А. К. Гусев, О. В. Соляков // Журнал университета водных коммуникаций. — 2012. — № 4. — С. 131–134.

6. Ракитин В. Д. Применение аппроксимации случайных процессов с целью получения координат путевых точек на ВВП / В. Д. Ракитин, О. В. Соляков // Межвузов. сб. науч. тр. ТСС и С на морских внутренних водных путях / под ред. д-ра техн. наук, проф. А. А. Сикарева. — СПб.: СПб.ГУВК, 2005. — С. 142–149.

7. Зуев В. Ф. Методика пост процессорной обработки маршрутов плавания и их корректуры с учетом специфики движения на внутренних водных путях / В. Ф. Зуев, В. Д. Ракитин, О. В. Соляков // Международ. науч.-практ. конф., посвященная 200-летию подготовки кадров для водного транспорта России «Водные пути России: строительство, эксплуатация, управление». — СПб.: СПб.ГУВК, 2009. — С. 95–98.

8. Соляков О. В. Методика создания маршрутов плавания на внутренних водных путях. Региональная информатика (РИ-2012) / О. В. Соляков // Юбилейная XIII Санкт-Петербургская международ. конф. «Региональная информатика (РИ-2012)»: тр. конф. Санкт-Петербургского об-ва информатики, вычислительной техники, систем связи и управления. — СПб., 2013. — С. 250–253.

9. Кодекс внутреннего водного транспорта (КВВТ РФ) от 07.03.2001 № 24-ФЗ.

10. Дмитриев В. И. К вопросу планирования и осуществлению рейса судна на внутренних водных путях (экологическая безопасность) / В. И. Дмитриев, О. В. Соляков // Материалы тезисов VII Российской науч.-техн. конф. «Навигация, гидрография и океанография: приоритеты развития и инновации морской деятельности», 18 — 20 мая 2011 г. — СПб.: ОАО ГНИНГИ, 2011. — С. 78–80.

УДК 656.61.052:621.396.6:629.12.018(075.8)

С. Ф. Шахнов,
канд. техн. наук, доц.

РАСЧЕТ ФУНКЦИИ ОСЛАБЛЕНИЯ ПОЛЯ КОНТРОЛЬНО-КОРРЕКТИРУЮЩИХ СТАНЦИЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

CALCULATION OF FUNCTION FIELD WEAKENING OF THE CONTROL AND CORRECTION STATIONS TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF THE UNDERLYING SURFACE

Рассматривается проблематика построения речной локальной дифференциальной подсистемы ГЛОНАСС/GPS автоматизированной системы управления движением судов на внутренних водных путях России. Выявлена основная трудность при расчете топологии поля контрольно-корректирующих станций, составляющих основу локальной дифференциальной подсистемы. Предложена методика расчета функции ослабления и напряженности поля радиоканалов контрольно-корректирующих станций. Определяются границы применимости уравнения Хаффорда для сферической поверхности, используемого для

вычисления функции ослабления, в средневолновом диапазоне частот. Приводится алгоритм численного решения уравнения для комплексной диэлектрической проницаемости подстилающей поверхности. Оценивается достоверность разработанного алгоритма и качество программного обеспечения путем сравнения полученных результатов с результатами известного аналитического решения и результатов эксперимента. Приводится пример построения зон действия цепочки контрольно-корректирующих станций Енисейского ФБУ на наиболее проблемном участке водного бассейна.

The article examines the problem of building the river local differential subsystem of the automated control system vessel traffic of GLONASS/GPS on the inland waterways of Russia. Identified the main difficulty in the calculation of the topology of the field of the control and correction stations, which is the basis of the local differential subsystem. The proposed method of calculation of the function of weakening and of the field strength of the radio channels of CCS. Determine the limits of applicability of the equations of Hafford for spherical surface used for computing the function of weakening in the medium frequency range. The algorithm of numerical solution of equations for the complex dielectric permittivity of the underlying surface. Evaluated the accuracy of the developed algorithm and quality software by comparing the obtained results with known analytical solutions and experimental data. Is an example of the construction area chain of CCS of Yenisei FBA on the most problematic area waterways.

Ключевые слова: напряженность поля, численные методы, мощность сигнала, функция ослабления, взаимные помехи, комплексная диэлектрическая проницаемость.

Key words: field strength, numerical procedure, signal power, the function of weakening, mutual disturbances, complex dielectric permittivity.

РАЗВЕРТЫВАНИЕ на внутренних водных путях (ВВП) России автоматизированных систем управления движением судов (АСУ ДС) привело к необходимости широкого внедрения современных инфокоммуникационных технологий и систем. Использование в АСУ ДС для мониторинга движения судов только береговых РЛС не обеспечивает требуемой эффективности управления. Для ее повышения на ВВП России предполагается дополнительно использовать автоматизированные идентификационные системы (АИС) [1], работа которых связана с использованием высокоточных систем позиционирования — спутниковых радионавигационных систем (СРНС) ГЛОНАСС/GPS. Однако в речных условиях их радионавигационное поле обязательно должно сопрягаться с полем дифференциальной поправки (ДП).

С экономической точки зрения для создания поля ДП, обеспечивающего высокоточное радионавигационное поле на ВВП России, наиболее перспективным является использование локальных дифференциальных подсистем (ЛДПС) на базе цепочки контрольно-корректирующих станций (ККС), работающих в диапазоне частот морской радиомаячной службы (283,5 — 325 кГц) [2]. Достаточно большая дальность действия станций в этом диапазоне частот (200–400 км) позволяет минимизировать количество ККС, обеспечивающих сплошное покрытие полем ДП водных бассейнов, что особенно актуально в условиях крайней неразвитости инфраструктуры в средних и нижних течениях рек Сибири и Дальнего Востока.

Топология поля ДП подробно рассмотрена в работе [3]. Для решения задачи оптимизации топологии поля ДП с учетом флуктуационного шума в радиоканалах необходимо решать задачу определения напряженности электрического поля E на границах зоны действия ККС. Кроме того, напряженность электрического поля необходимо определять в расчетных точках судового хода в зоне действия ККС при проверке помехозащищенности радиоканалов в условиях воздействия взаимных и промышленных помех.

В средневолновом диапазоне напряженность поля вертикального диполя $|E(R)|$, мкВ/м, в расчетной точке определяется выражением [4]:

$$|E(R)| = -\frac{3 \cdot 10^5 \sqrt{P}}{R} W(R), \quad (1)$$

где P — мощность передатчика в кВт; R — расстояние до расчетной точки в км; $W(R)$ — функция ослабления подстилающей поверхности.

Методика расчета напряженности поля ККС рассмотрена в работе [5]. Основную трудность при вычислении выражения (1) представляет определение функции ослабления. В ряде слу-

чаев для сильно увлажненных и болотистых почв функция ослабления стремится к единице, и подстилающую поверхность для длины волны $\lambda = 1000$ м можно считать идеально проводящей и не оказывающей влияния на распространение радиоволн. Подобные условия характерны для заболоченных территорий нижнего течения Иртыша, среднего и нижнего течения Оби, нижнего течения Енисея и Лены. Однако для сухих степей и лесостепей, а также слабозаболоченных лесных массивов, характерных для бассейна Волги, Амура, верхнего и среднего течения сибирских рек, электрические параметры почв не позволяют рассматривать подстилающую поверхность как идеально проводящую даже для длины волны $\lambda = 1000$ м. Поэтому для определения функции ослабления, используемой при расчете зон действия ККС, необходимо решать уравнение Фейнберга [4] для плоской поверхности (при расстояниях менее 80 км) или уравнение Хаффорда для сферической поверхности [6].

Границы зон действия ККС на разных направлениях составляют 200–400 км. На таких расстояниях замена сферической поверхности плоской приводит к недопустимо большим погрешностям, поэтому для определения функции ослабления с целью определения границ зон действия ККС рассматривается сферическая задача. Тогда уравнение Хаффорда для сферической поверхности может быть представлено как [7]:

$$W(R) = 1 + i\sqrt{\frac{ikR}{2\pi}} \int_0^R W(x) \left[\frac{1}{\sqrt{\varepsilon(x)}} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right) \right] \frac{\exp\left(\frac{ikxR(R-x)}{8a^2}\right)}{\sqrt{x(R-x)}} dx, \quad (2)$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ — волновое число; λ — длина волны; a — радиус Земли; $\varepsilon(x)$ — комплексная диэлектрическая проницаемость подстилающей поверхности; x — расстояние от источника до текущей точки интегрирования.

Для R порядка 200 км экспонента в выражении (2) близка к единице, и формула для функции ослабления может быть записана в упрощенном виде:

$$W(R) = 1 + i\sqrt{\frac{iR}{\lambda}} \int_0^R W(x) \left[\frac{1}{\sqrt{\varepsilon(x)}} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right) \right] \frac{1}{\sqrt{x(R-x)}} dx. \quad (3)$$

Выражение (3) представляет собой интегральное уравнение Вольтерры второго рода вида [8]:

$$W(R) = f(R) + \rho \int_0^R W(x) K(R, x) dx. \quad (4)$$

В данном случае свободный член тождественно равен единице:

$$f(R) \equiv 1.$$

Константа примет вид

$$\rho = i\sqrt{\frac{iR}{\lambda}}. \quad (5)$$

Ядро уравнения (4) определяется выражением

$$K(R, x) = \left[\frac{1}{\sqrt{\varepsilon(x)}} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right) \right] \frac{1}{\sqrt{x(R-x)}}. \quad (6)$$

Комплексная диэлектрическая проницаемость определяется выражением

$$\varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon'' = \varepsilon' + i\frac{4\pi}{\omega} \sigma = \varepsilon' + i\frac{2c}{\lambda} \sigma, \quad (7)$$

где ε' — удельная диэлектрическая проницаемость; c — скорость света; σ — удельная электропроводность.

Тогда, с учетом уравнения (7), запишем

$$\frac{1}{\sqrt{\varepsilon(x)}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon'(x) + i\varepsilon''(x)}} = \frac{\sqrt{\varepsilon'(x) - i\varepsilon''(x)}}{r}, \quad (8)$$

где $r = \sqrt{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2}$ — модуль комплексной диэлектрической проницаемости.

Подставив полученное выражение в формулу (6) и внося константу (5) в ядро, получим

$$K(R, x) = i\sqrt{\frac{R}{\lambda}} \left[\frac{\sqrt{\varepsilon''(x) + i\varepsilon'(x)}}{r} + \sqrt{i} \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right) \right] \frac{1}{\sqrt{x(R-x)}}. \quad (9)$$

Тогда действительная и мнимая части ядра будут определяться выражениями:

$$\operatorname{Re}(K(R, x)) = \mp \sqrt{\frac{R}{2\lambda x(R-x)r^2}} \left(\sqrt{r - \varepsilon''(x)} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)r \right); \quad (10)$$

$$\operatorname{Im}(K(R, x)) = \pm \sqrt{\frac{R}{2\lambda x(R-x)r^2}} \left(\sqrt{r + \varepsilon''(x)} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)r \right). \quad (11)$$

Решение уравнения (3) будем искать в виде

$$W(R) = \operatorname{Re}(W(R)) + i \operatorname{Im}(W(R)). \quad (12)$$

Тогда, подставив выражение (3) в уравнение (12) с учетом (10) и (11), получим

$$W(R) = 1 \mp \int_0^R W(x) \sqrt{\frac{R}{2\lambda x(R-x)r^2}} \left(\sqrt{r - \varepsilon''(x)} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)r \right) dx \pm \pm i \int_0^R W(x) \sqrt{\frac{R}{2\lambda x(R-x)r^2}} \left(\sqrt{r + \varepsilon''(x)} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)r \right) dx. \quad (13)$$

Таким образом, уравнение (13) имеет четыре решения, однако физический смысл имеет только одно из них, так как функция ослабления не может быть больше единицы, а так как $R-x$ значительно меньше, чем $2a$, то $\sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)$ всегда положителен. С учетом этого окончательно запишем

$$W(R) = 1 - \int_0^R W(x) \sqrt{\frac{R}{2\lambda x(R-x)r^2}} \left(\sqrt{r - \varepsilon''(x)} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)r \right) dx + + i \int_0^R W(x) \sqrt{\frac{R}{2\lambda x(R-x)r^2}} \left(\sqrt{r + \varepsilon''(x)} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)r \right) dx \quad (14)$$

или

$$W(R) = 1 + \int_0^R (-K^{\operatorname{Re}}(R, x) + i K^{\operatorname{Im}}(R, x)) W(x) dx. \quad (15)$$

Отсюда

$$K(R, x) = \sqrt{\frac{R}{2\lambda x(R-x)r^2}} \left[-\left\{ \sqrt{r - \varepsilon''(x)} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)r \right\} + + i \left\{ \sqrt{r + \varepsilon''(x)} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)r \right\} \right]. \quad (16)$$

Аналитическое решение уравнение (15) имеет место только для ряда частных случаев. Поэтому решение данного уравнения будем выполнять численным интегрированием с помощью квадратурного метода, представив функцию ослабления через известную итерационную формулу [8]:

$$W_k = \frac{1 + \sum_{j=1}^{k-1} A_{kj} K_{kj} W_j}{1 - A_{kk} K_{kk}}, \quad (17)$$

где $K_{kj} = K(R_k, x_j) = K^{\text{Re}}(R_k, x_j) + iK^{\text{Im}}(R_k, x_j)$; $W_k = W(R_k)$; $k = 0, 1, 2, \dots, N$; N — число узлов; h — шаг интегрирования; $A_{kj} = p_k h$ — набор коэффициентов интегрирования; $p_k = Ba_k$ — весовые коэффициенты для различных степеней квадратурных формул.

Так как ядро (16) имеет особенности на концах из-за знаменателя $x(R-x)$, то прямое использование формулы (17) невозможно. Для устранения особенностей каждый интеграл в выражении (15) разбивается на три части. В первом интеграле производится замена переменной по условию $x = y^2$, а в третьем — на $x = R - y^2$ [9]. Тогда получим

$$\int_0^R K(R, x)W(x)dx = \int_0^{\sqrt{n_1 h}} K_1(R, y^2)W(y^2)dy + \int_{n_1 h}^{R-n_2 h} K(R, x)dx + \int_0^{\sqrt{n_2 h}} K_3(R, R-y^2)W(R-y^2)dy, \quad (18)$$

где n_1 и n_2 — число точек, по которым вычисляется первый и последний интеграл.

Соответственно

$$K_1(R, y^2) = \sqrt{\frac{2R}{\lambda(R-y^2)r(y^2)^2}} \left[- \left\{ \sqrt{r(y^2) - \varepsilon''(y^2)} + \sin\left(\frac{R-y^2}{2a}\right)r(y^2) \right\} + i \left\{ \sqrt{r(y^2) + \varepsilon''(y^2)} + \sin\left(\frac{R-y^2}{2a}\right)r(y^2) \right\} \right]; \quad (19)$$

$$K_3(R, y^2) = \sqrt{\frac{2R}{\lambda(R-y^2)r(R-y^2)^2}} \left[- \left\{ \sqrt{r(R-y^2) - \varepsilon''(R-y^2)} + \sin\left(\frac{y^2}{2a}\right)r(R-y^2) \right\} + i \left\{ \sqrt{r(R-y^2) + \varepsilon''(R-y^2)} + \sin\left(\frac{y^2}{2a}\right)r(R-y^2) \right\} \right]. \quad (20)$$

Для вычисления крайних интегралов в выражении (18) используем формулу Ньютона — Котеса первой степени (формулу трапеций). Тогда $B = 1/2$; $a_0 = a_1 = 1$.

При нечетном числе точек интегрирования во втором интеграле используем квадратурную формулу Ньютона — Котеса второй степени (формулу Симпсона). Здесь $B = 1/3$, $a_0 = a_2 = 1$, $a_1 = 4$. При четном числе точек интегрирования используем комбинацию из квадратурных формул второй и третьей степени, при этом формулу третьей степени ($B = 3/8$, $a_0 = a_3 = 1$, $a_1 = a_2 = 3$) будем использовать только для четырех последних точек. Тогда выражение (17) примет вид

$$W_k = \frac{1 + \frac{\sqrt{h}}{2}(K_1(R_k, 0)W_0 + K_1(R_k, h)W_1 + K_3(R_k, h)W_{k-1}) + S(W, 1, k-1, h)}{1 - \frac{\sqrt{h}}{2}K_3(R_k, 0)}. \quad (21)$$

Здесь функция $S(W, 1, k-1, h)$ определяет значение среднего интеграла:

$$S(Y, 1, k-1, h) = \frac{h}{3} \sum_{j=1}^{n_p - \text{mod}(n-1, 2)} (Y_{2j-1} + 4Y_{2j} + Y_{2j+1}) + \begin{cases} 0, & \text{mod}(n-1, 2) = 0; \\ \frac{3h}{8}(Y_m + 3Y_{m+1} + 3Y_{m+2} + Y_{m+3}), & \end{cases} \quad (22)$$

где $k = 4, 5, \dots, N$; $n = k - 1$ — число точек интегрирования; $n_p = \text{div}\left(\frac{n-1}{2}\right)$ — число промежутков интегрирования (div — целая часть от деления); $m = 1 + 2(n_p - \text{mod}(n-1, 2))$; mod — остаток от деления; $Y_j = K_{kj}W_j$ — подынтегральная функция.

Для $k = 0, 1$ принимаем $W_0 = W_1 = 1$

Для $k = 2$ средний интеграл выпадает, получим

$$W_2 = \frac{1 + \frac{\sqrt{h}}{2}(K_1(R_2, 0)W_0 + K_1(R_2, h)W_1 + K_3(R_2, h)W_1)}{1 - \frac{\sqrt{h}}{2}K_3(R_2, 0)}. \quad (23)$$

Для $k = 3$ формулу трапеций применяем ко всем трем интегралам:

$$W_3 = \frac{1 + \frac{\sqrt{h}}{2} (K_1(R_3, 0)W_0 + K_1(R_3, h)W_1 + K_3(R_3, h)W_2) + T(Y, 1, k - 1, h)}{1 - \frac{\sqrt{h}}{2} K_3(R_3, 0)}, \quad (24)$$

где $T(Y, 1, 2, h) = \frac{h}{2}(Y_1 + Y_2)$.

Задав множества $\varepsilon'_k, \varepsilon''_k$ и подставив выражение (16), (19) и (22) в уравнения (21), (23) и (24), найдем значения функции ослабления в узлах на участке от 0 до R_N . Для реализации полученного алгоритма разработано программное обеспечение в программной оболочке MATLAB. Исходными данными к программе, помимо массивов $\varepsilon'_k, \varepsilon''_k$, заданных в узловых точках интегрирования, являются: радиус Земли, скорость света, мощность передатчика, длина волны, шаг разбиения трассы, число участков с различной диэлектрической проницаемостью и проводимостью и число узловых точек каждого участка. При этом напряженность поля в заданной точке определяется из выражения (1).

Для тестирования полученного алгоритма и разработанной программы было получено решение задачи для трассы, состоящей из двух участков (хорошо проводящие почва и море), аналитическое решение и экспериментальные данные для которой приведены в работе Фейнберга [4, с. 310]. Результаты тестирования приведены на рис. 1.

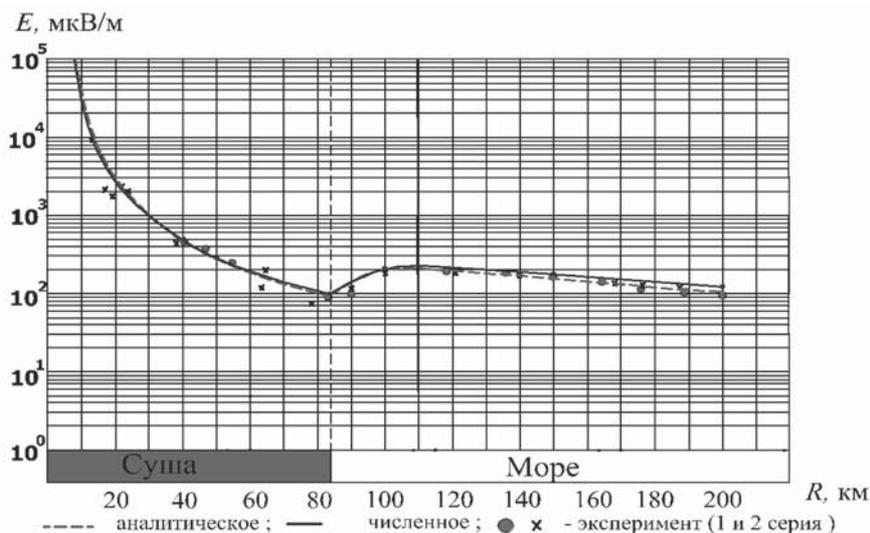


Рис. 1. Сравнение теоретических и экспериментальных данных с результатами численного интегрирования

Исходные данные для расчета:

- мощность излучателя $P = 10$ кВт; длина волны излучения $\lambda = 96$ м;
- относительная диэлектрическая проницаемость почвы $\varepsilon' = 10$;
- удельная электропроводность почвы $\sigma = 9 \cdot 10^7$;
- длина участка суши — 84 км; длина участка моря — 116 км;
- относительная диэлектрическая проницаемость морской воды $\varepsilon' = 80$;
- удельная электропроводность морской воды $\varepsilon' = 4 \cdot 10^{10}$.

Как видно из графика, разработанный алгоритм численного интегрирования уравнения Хаффорда показал хорошее совпадение с аналитическим решением для сферической поверхности и результатами эксперимента. Разработанный алгоритм и программа использовались в рамках НИР [2] для оптимизации состава ККС ЛДПС в бассейнах Иртыша, Оби, Енисея и Амура. При этом дальность действия ККС определялась из условия

$$E(R_{\max}) \geq E_{\text{доп}}. \quad (25)$$

Допустимая величина напряженности поля в точке приема задавалась исходя из чувствительности приемной аппаратуры с учетом флуктуационного шума в радиоканалах [10].

Для определения зон действия ККС строились лучи, расходящиеся от станции, вдоль которых задавались размеры участков с различными электрическими свойствами и в каждом из них — параметры ϵ' и σ . Размер зоны действия по каждому из направлений определялся из условия (25) после определения численным методом значений функции ослабления и из формулы (1) — напряженности поля в точке приема.

Пример построения зон действия ККС на наиболее сложном участке в зоне ответственности ФБУ «Енисейречтранс» приведен на рис. 2. Мощности всех передатчиков задавались $P = 400$ Вт, длина волны $\lambda = 1000$ м.

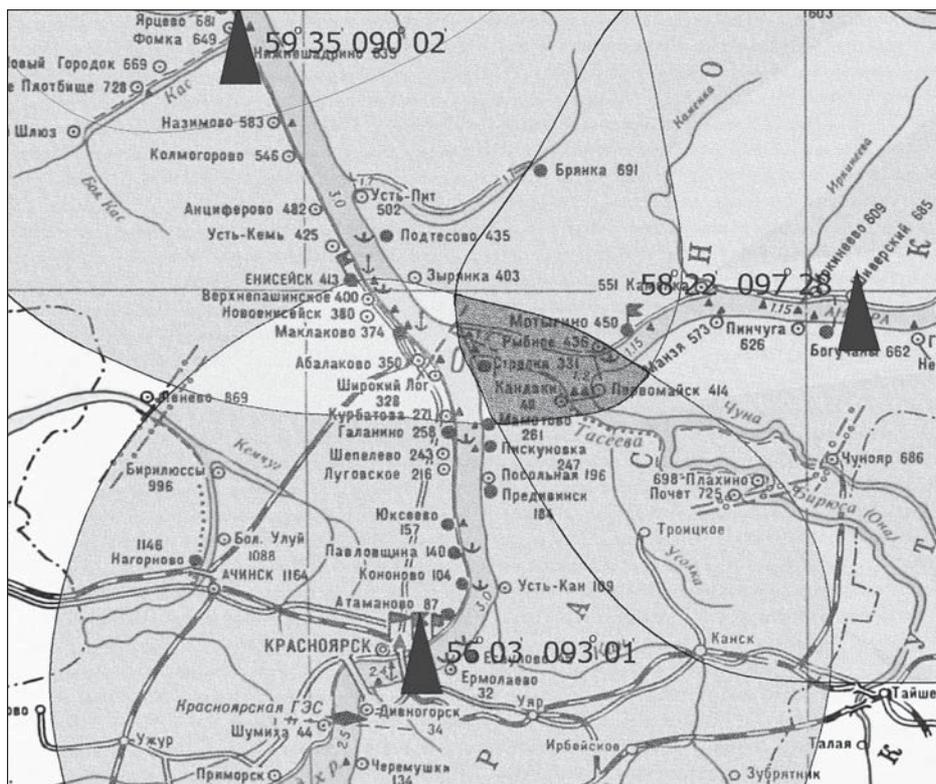


Рис. 2. Зоны действия ККС на наиболее проблемном участке в бассейне Енисея

Для определения помехозащищенности радиоканалов в расчетных точках судового хода в зоне действия ККС при воздействии взаимных и промышленных помех задавались направления от станции до расчетных точек судового хода, вдоль которых также определялись размеры участков с различными электрическими свойствами и для каждого участка задавались значения ϵ' и σ . Полученные в результате расчета по приведенной методике значения функции ослабления и напряженности поля в расчетных точках являются исходными для определения помехозащищенности радиоканалов в зонах действия ККС.

Список литературы

1. Сикарев И. А. Помехоустойчивость и функциональная устойчивость автоматизированных идентификационных систем мониторинга и управления на речном транспорте: монография / И. А. Сикарев. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. — 142 с.

2. Проведение в соответствии с международными соглашениями и требованиями комплексных исследований использования системы ГЛОНАСС, других глобальных навигационных спутниковых систем и их функциональных дополнений в составе автоматической идентификационной системы и системы управления движением судов для обеспечения мониторинга морских и речных судов, а также для взаимного контроля судов и их безопасного расхождения: отчет о НИР (окончательный) / Науч. руковод. А. А. Сикарев, отв. исполн. И. А. Сикарев, С. Ф. Шахнов [и др.] — СПб.: ООО «Инфоком», 2014. — 272 с.

3. Каретников В. В. Топология дифференциальных полей и дальность действия контрольно-корректирующих станций высокоточного местоопределения на внутренних водных путях: монография / В. В. Каретников, А. А. Сикарев. — Изд. 2. — СПб.: ГУМРФ, 2013. — 525 с.

4. Фейнберг Е. Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности: монография / Е. Л. Фейнберг. — Изд. 2. — М.: Наука, 1999. — 496 с.

5. Сикарев А. А. К расчету напряженности поля в радиоканалах речной локальной дифференциальной подсистемы ГЛОНАСС/GPS средневолнового диапазона / А. А. Сикарев, С. Ф. Шахнов // Вестник Государственного университета морского и речного транспорта им. адм. С. О. Макарова. — 2014. — № 3 (25). — С. 27–31.

6. Hufford G. A. An Integral equation approach to the problem of wave propagation over on irregular surface // Quart. Appl. Math. — 1952. — Vol. 9. — P. 291–404.

7. Саломатов Ю. П. Инженерные методы расчета распространения волны вдоль поверхности Земли: монография. — Красноярск: ИПК СФУ, 2009. — 164 с.

8. Вержбицкий В. М. Основы численных методов: учебник. — М.: Высш. шк., 2002. — 840 с.

9. Саломатов Ю. П. Сравнение квадратурных методов решения интегрального уравнения Хаффорда / Ю. П. Саломатов, А. А. Сенченко // Докл. ТУСУРа. — 2012. — № 2 (26). — Ч. 2. — С. 36–41.

10. Каретников В. В. Расчет помехозащищенности (ПЗ) радиоканалов речной локальной дифференциальной подсистемы (ЛДПС) автоматизированных систем управления (АСУ) движением судов (ДС) (на примере ФБУ «Администрация Волжского бассейна») / В. В. Каретников, И. А. Сикарев, С. Ф. Шахнов // Речной транспорт (XXI век). — 2014. — № 6. — С. 54–57.

УДК 528.472; 378.147.88

Ю. Г. Фирсов,
канд. техн. наук, доц.

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДИКИ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ГИДРОГРАФОВ

HYDROGRAPHIC INNOVATIVE EDUCATION METHODOLOGY

Рассмотрены вопросы использования инновационных методик в учебном процессе на Арктическом факультете университета при подготовке специалистов в области гидрографии. Определена особая роль геоматики при подготовке современных гидрографов. Раскрыты методики инновационного подхода к преподаванию дисциплин «Гидрография» и «Морские электронные информационные системы». Указана необходимость создания учебно-методических материалов для обучения использованию электронных гидрографических информационных систем с применением средств мультимедиа. Даны рекомендации по использованию сайтов организаций, содержащих наиболее полезную информацию для образовательного процесса в области гидрографии и морской геоматики. Обсуждены перспективы дальнейшего развития инноваций гидрографического образования в университете на основе применения в учебном процессе пакетов Fledermause, EIVA, SonarWIZ5.

The study examines hydrographic education methodology provided at the Arctic faculty, department of hydrography at the Admiral Makarov State University for Maritime and Inland Shipping. The role of geomatics in

education process is emphasized. Methods of the hydrographic education innovation methodology are discussed. The importance of the Internet resource for hydrographic training is considered and the most important sites named. The further prospect of hydrographic innovative education methodology improvements using such hydrographic information technologies as: QINSy/Fledermause, EIVA, SonarWIZ5 are discussed

Ключевые слова: гидрография, морская геоматика, электронные гидрографические информационные технологии, HYDRACK, QINSy, Fledermause, EIVA, SonarWIZ5, образовательный процесс, электронные учебные пособия, учебно-методический комплекс, средства мультимедиа.

Key words: innovative education methodology, hydrographic information technologies, QINSy, Fledermause, EIVA, SonarWIZ5.

Н А РУБЕЖЕ XX и XXI вв. произошли революционные изменения в науках о Земле, при этом возникла новая научная дисциплина — геоматика. В соответствии с ГОСТ Р 52438-2005 [1] она определяется как научно-техническое направление, объединяющее методы и средства интеграции информационных технологий сбора, обработки и использования пространственных данных, включая геоинформационные технологии.

Геоматика — это современная дисциплина, изучающая сбор, моделирование, анализ и управление данными, которые имеют пространственную привязку. Она базируется на достижениях географии и геодезии, использует наземные, морские, воздушные и спутниковые датчики для получения пространственных данных, рассматривает процесс преобразования пространственно-привязанных данных с определенными точностными характеристиками из различных источников в обычные информационные системы.

Геоматика объединяет следующие научные направления: электронная геодезия, спутниковые технологии высокоточного позиционирования на основе применения глобальных навигационных систем (ГНСС) Навстар/Глонаас, дистанционное зондирование Земли и геоинформационные технологии.

Современная гидрография во многом базируется на использовании достижений геоматики. За последние 10–15 лет методы выполнения гидрографических съемок претерпели радикальные изменения. Это связано с широким внедрением персональных компьютеров и новых технических средств, таких как спутниковая навигационная аппаратура (СНА) с обработкой фазы несущей, цифровых однолучевых (ОЛЭ) и многолучевых эхолотов (МЛЭ), гидролокаторов бокового обзора (ГБО), а также батиметрических гидролокаторов бокового обзора (БГБО). Появились инновационные гидрографические технологии в виде электронных гидрографических информационных систем (ЭГИС) различного назначения. В большинстве ЭГИС возможен прямой экспорт результатов съемки рельефа дна в обменный формат электронной навигационной карты (ЭНК) S-57, что существенно сокращает время доведения картографической информации до потребителя. Все эти достижения обусловили появление новой дисциплины — электронной гидрографии.

Главной задачей гидрографии является описание подводного рельефа. До недавнего времени основной целью получения таких сведений являлось обеспечение безопасности мореплавания и решение прикладных задач. Сейчас, учитывая интенсивное освоение ресурсов Мирового океана, роль гидрографии существенно расширяется в связи с необходимостью гидрографического обеспечения многообразной морской деятельности.

Вышеуказанные обстоятельства потребовали инновационного подхода к обучению современных гидрографов. В целях приведения учебного процесса к современному уровню, начиная с 2001 года, на кафедре «Гидрография моря» осуществлялись работы по внедрению новых гидрографических информационных технологий. В результате были созданы новые электронные учебные пособия, а также лекционные и учебно-методические материалы с применением средств мультимедиа. В 2001 г. получена учебная лицензия для преподавания ЭГИС HYDRACK, а с 2004 г. Государственная морская академия стала учебным центром, аккредитованным фирмой HYDRACK Inc. в Российской Федерации. Это позволило по-новому организовать учебный

процесс на старших курсах АРФ по дисциплине «Морские электронные информационные системы» (МЭИС) [2], [11].

Для эффективного преподавания и успешного освоения учащимися такой дисциплины как МЭИС большое значение имеет практика применения пакетов программ и в частности обеспечение возможности их использования в реальном масштабе времени. С этой целью на кафедре «Гидрография моря» в 2006 г. была разработана специальная компьютерная программа-имитатор для обучения курсантов использованию пакетов программ ЭГИС в лабораторных условиях без необходимости сопряжения с реальными гидрографическими «устройствами» [3]. Программа позволяет практически полностью имитировать съемку рельефа.

Одновременно велась работа по модернизации дисциплины «Гидрография» для старших курсов Арктического факультета (АРФ). В рабочую программу дисциплины были включены разделы по электронной гидрографии и использованию ГНСС. Подготовленные электронные конспекты лекций в дальнейшем периодически дополнялись и в настоящее время оформлены в виде обновленных электронных учебных пособий, выпущенных на кафедре [12], [13]. Основное содержание дисциплины «Гидрография» для IV и V курсов АРФ (2007–2009), а также их обеспечение наглядными пособиями (презентациями) приведено в работах [4], [5]. Презентации лекций и лабораторных работ обновляются ежегодно с учетом опыта освоения курсантами учебного материала.

Начиная с 2005 г. появилась необходимость систематизации и обобщения разделов дисциплины «Гидрография» по гидроакустике и использованию МЛЭ, ГБО и БГБО. С учетом результатов трехлетнего опыта преподавания разделов по гидроакустике и использованию современных средств площадной съемки рельефа дна в 2010 г. было опубликовано учебное пособие [10].

В результате сотрудничества АРФ с ЗАО «РОМОНА» и ООО «Мариметр» в 2006 г. была получена учебная лицензия на ЭГИС QINSy (A Quality Integrated Navigation System) голландской фирмы QPS (Quality Positioning Services). Освоение преподавания ЭГИС QINSy потребовало создания в 2009 г. нового учебного пособия [9], а также методического комплекса, обновленного в 2014 г. [14]. Вопросы оценки качества съемок, выполняемых с использованием ЭГИС QINSy, изложены в работах [6], [15].

Инновационные методики преподавания гидрографии и МЭИС включают:

1. Максимальное использование компьютерных форм представления информации с применением средств мультимедиа в виде презентаций (формат пакета «Power Point»), а также видеоклипов для представления лекционного и учебно-методического материала.

2. Применение программ тренажеров-имитаторов для освоения ЭГИС QINSy и НУРАСК.

3. Освоение свободно распространяемого в сети Интернет гидрографического программно-обеспечения для выполнения лабораторных и самостоятельных расчетных работ.

4. Широкое использование в учебном процессе материалов по гидрографии, публикуемых в сети Интернет, включая специализированные журналы в электронной форме и видеоклипы.

5. Создание и поддержание на современном уровне электронной библиотеки кафедры, содержащей более 200 актуальных публикаций по геодезии, гидрографии, электронной навигации и картографии, геоинформационным технологиям, а также по смежным дисциплинам (океанологии, гидроакустике, морской геофизике и геологии).

6. Размещение информации об учебных материалах на сайте кафедры.

При освоении учащимися ЭГИС существенное значение имеет наличие учебно-методического комплекса, включающего методические указания по выполнению лабораторных работ, и наборы исходных данных (файлов) для решения конкретной задачи. Другим полезным материалом, дополняющим учебно-методический комплекс, являются файлы видеоклипов и вебинаров, содержащие наглядную информацию последовательности действий программы для получения окончательного результата. Видеоклипы доступны для просмотра в сети Интернет (например, в YouTube), а также создаются самостоятельно. В качестве примера можно привести видеоклип по настройке шаблона базы данных в ЭГИС QINSy: www.youtube.com/watch?v=sX3W0qtgI4.

Основная цель изучения ЭГИС — подготовка курсантов к производственной практике, которая является одним из главных составляющих учебного процесса на АРФ. Самые лучшие навыки курсанты получают в организациях, оснащенных современной гидрографической аппаратурой и программным обеспечением. К числу таких фирм относятся: ЗАО «РОМОНА», ООО «Фертоинг», ООО «ПетрославГидросевис», ЗАО «МАГЭ» и ряд других.

Существенное значение для обеспечения высокого уровня образовательного процесса в области гидрографии имеет эффективное использование ресурсов сети Интернет. Размещенная в ней новейшая информация по гидрографии может быть классифицирована по следующим направлениям:

1. Сведения по техническим и программным средствам, предоставляемым фирмами-производителями гидрографического оборудования.
2. Документы и материалы международной и национальных гидрографических организаций.
3. Информация профессиональных и общественных организаций в области геоматики, включая материалы конференций, доклады на международных выставках и семинарах.
4. Научные публикации в области морской геоинформатики отечественных и зарубежных фирм, специализирующихся в области гидрографического обеспечения морской деятельности.
5. Материалы ведущих зарубежных и отечественных высших учебных заведений в области геоинформатики, включая морскую геоматику и гидрографию.
6. Публикации в отечественных и зарубежных специализированных гидрографических журналах и журналах, связанных с навигационно-гидрографическим обеспечением морской деятельности.

— Среди фирм-производителей гидрографического оборудования наиболее интересная информация доступна на сайтах следующих фирм:

— Kongsberg Maritime (Норвегия) — сведения о новейших однолучевых и многолучевых эхолотах, гидроакустических навигационных системах, подводных телеуправляемых и автономных аппаратах;

— QPS (Голландия) — сведения о ЭГИС QINSy (имеется документация на русском языке);

— НУРАСК (США) — сведения о ЭГИС Нураск (есть документы на русском языке);

— EIVA (Дания) — сведения о ЭГИС EIVA [8]; (NaviPack, NaviScan, NaviEdit, NaviModel, NaviPlot);

— Teledyne [Reson]/[Odom](США) — сведения о новейших однолучевых и многолучевых эхолотах;

— C&C Technologies (США) — сведения о новейшей фазовой спутниковой аппаратуре для работы с дифференциальным сервисом С-Nav;

— Trimble (США) — сведения о новейшей кодовой и фазовой спутниковой аппаратуре и ЭГИС «HYDRO Pro»;

— EdgeTech (США) — сведения о ГБО, БГБО, акустических профилографах, акустических размыкателях и гидроакустических навигационных системах;

— Innomag (Германия) — параметрические акустические профилографы и программы обработки.

Таков далеко не полный перечень фирм-производителей гидрографического оборудования, чьи сайты представляют интерес для образовательных целей. Среди российских фирм отметим ЗАО «Мариметр» (представитель фирм «Kongsberg Maritime», «EdgeTech», «QPS») и «Технополь» (представитель фирм «Teledyne», «EIVA», Innomag и др.). Эти фирмы не только публикуют информацию по аппаратно-программным средствам поставляемого ими оборудования на русском языке, но и предоставляют полезные сведения об опыте эксплуатации.

Среди многочисленных документов Международной гидрографической организации (МГО) наибольший интерес для преподавания гидрографии имеют материалы специальных публикаций (SP). В частности SP-44 (2008) — «Стандарт на гидрографические съемки» —

изучается в курсе «Гидрография». Анализ документа содержится в работе [7] и представлен в учебном пособии [12].

Другими полезными материалами МГО являются международный учебник по гидрографии (публикация «С-13») и Стандарт компетентности гидрографа (публикация «М-5») [16]. На основе последнего формируются учебные планы подготовки курсантов на АРФ.

В списке национальных организаций, публикующих на своих сайтах полезную для учебного процесса информацию в области морской геоматики и гидрографии, следует упомянуть следующие ведомства:

- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration);
- геологическая служба США (USGS);
- корпус инженеров армии США (USCE),
- гидрографическую службу Королевства Нидерланды.

В частности, на сайте гидрографической службы Королевства Нидерланды доступен свободно распространяемый пакет программ «РСТrans v.4.2.9», который используется в учебном процессе АРФ и поддержан специально разработанными методическими материалами, способствующими эффективной практической работе с отдельными программными модулями.

Информация на сайтах профессиональных и общественных организаций, а также содержащаяся в научных публикациях в области морской геоинформатики, весьма многообразна, ее обзор выходит за рамки данной статьи. Упомянем только Международную организацию морских подрядчиков (International Marine Contractors Association = IMCA); сайт: www.imca-int.com и Международную организацию производителей нефти и газа (Oil and Gas Producers = OGP); сайт: www.ogp.org.uk.

Их сайты содержат нормативные документы по широкому кругу вопросов морской деятельности, связанной с освоением месторождений углеводородов. В частности на сайте IMCA доступно «Руководство по использованию многолучевого эхолота для обеспечения съемки рельефа дна применительно к решению задач промышленной гидрографии» (документ S-003, 2006).

Среди зарубежных высших учебных заведений, предоставляющих образовательные услуги в области морской геоматики, отметим университеты Нью-Хемпшир («University of New Hampshire», USA, сайт: www.ccom-jhc.unh.edu) и Нью-Бронсвик (University of New-Brunswick, Canada, сайт: www.omg.unb.ca).

Более полные сведения, касающиеся адресов сайтов фирм и высших учебных заведений, осуществляющих образовательную деятельность в области морской геоматики, можно найти в приложениях к учебному пособию [10].

Последние годы отмечены существенным облегчением доступа к публикациям отечественных и зарубежных специализированных журналов в области гидрографии и морской геоматики. В сети Интернет стала доступной свободная подписка и архивы таких международных журналов, как: «HYDRO International», «International Hydrographic Review», «Sea Technology» и ряда других. Ведущий специализированный журнал «Навигация и гидрография», издаваемый Государственным навигационно-гидрографическим институтом (ГНИНГИ), также стал доступен в архиве (www.gningi.ru/journal.html).

Полезная для образовательного процесса в области гидрографии информация представлена на отечественном гидрографическом портале «Гидрография» (www.hidrografia.ru).

Ведущей тенденцией в современной гидрографии является обеспечение морской деятельности, связанной с созданием и развитием инфраструктуры морских нефтяных и газовых месторождений. Этот вид гидрографической деятельности называется «Промышленная гидрография».

Особенностью промышленной гидрографии является высокоточное позиционирование морских буровых установок (МБУ) и использование подводных технических средств (ПТС). Эффективность ПТС обусловлена применением гидроакустических навигационных систем (ГАНС) с длинной и ультракороткой базой. ГАНС позволяют определять пространственные координаты ПТС в толще воды и на дне, а также положение МБУ для решения задач, требующих максимально

высокой точности. Эти системы находят широкое применение в ЗАО «РОМОНА» и «Фертоинг», где проходят производственную практику курсанты АРФ.

С 2014 г. состав дисциплины «Гидрография» дополнен разделом, касающимся применения ГАНС, а также позиционирования ПТС с использованием средств подводной навигации.

В связи с перспективой эксплуатации морских нефтяных и газовых месторождений на шельфе арктических морей России преподавание курса промышленной гидрографии становится особенно актуальным. Анализ особенностей программных модулей EIVA, удобных для решения задач промышленной гидрографии, содержится в работе [8].

В настоящее время на кафедре «Гидрография моря» в основном подготовлены необходимые учебные и методические материалы, позволяющие вести преподавание дисциплин в области гидрографии на современном уровне с использованием инновационных методик обучения.

Созданный задел позволит в дальнейшем откорректировать Стандарт высшего специального образования по направлению подготовки 180500.62 «Управление водным транспортом и гидрографическое обеспечение судоходства» (профиль «Гидрографическое обеспечение мореплавания и морских инженерных изысканий»).

В стадии подготовки находится учебное пособие «Гидрографические информационные технологии», в котором основное внимание будет уделено вопросам морской геоматики. Всё это позволит в дальнейшем откорректировать стандарт высшего специального образования по специальности 180401 «Гидрография и навигационное обеспечение судоходства». В перспективе на АРФ планируется подготовка бакалавров-гидрографов по магистерской программе. Предполагается, что она будет включать углубленное изучение таких программных продуктов как: EIVA, SonarWIZ5, FledermausePRO, QINSy ProcessingManager.

Список литературы

1. ГОСТ Р 52438-2005. Географические информационные системы. Термины и определения. — М.: Изд-во «Стандартинформ», 2006. — 11 с.
2. *Фирсов Ю. Г.* Современные гидрографические технологии и практическая подготовка инженеров гидрографов в Государственной морской академии / Ю. Г. Фирсов // Эксплуатация морского транспорта / под ред. П. С. Емельянова. — М.: Наука, 2003. — С. 47–54.
3. *Фирсов Ю. Г.* Гидрографические программы имитаторы и их использование в учебном процессе / Ю. Г. Фирсов, М. В. Иванов // Эксплуатация морского транспорта. — 2009. — № 2. — С. 50–54.
4. *Фирсов Ю. Г.* Новый курс лекций для гидрографов старших курсов Арктического факультета Государственной морской академии / Ю. Г. Фирсов // Тезисы докладов науч.-техн. конф. проф.-препод. состава, науч. работников и курсантов Государственной морской академии имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: ГМА, 2007. — С. 214–217.
5. *Фирсов Ю. Г.* Новые учебные пособия по электронной гидрографии для курсантов Арктического факультета / Ю. Г. Фирсов // Сб. тез. докладов конф. проф.-препод. состава. — СПб.: ГМА, 2009. — С. 237–240.
6. *Фирсов Ю. Г.* Контроль качества трехмерного позиционирования в электронной гидрографии / Ю. Г. Фирсов // Эксплуатация морского транспорта. — 2009. — № 3. — С. 34–39.
7. *Фирсов Ю. Г.* Пятая редакция международного Стандарта на гидрографические съемки S-44 Международной Гидрографической организации / Ю. Г. Фирсов // Эксплуатация морского транспорта. — 2008. — № 1. — С. 39–44.
8. *Фирсов Ю. Г.* Анализ особенностей программных модулей EIVA применительно к решению задач промышленной гидрографии / Ю. Г. Фирсов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 5 (27). — С. 172–183.
9. *Фирсов Ю. Г.* Основы практического применения электронной гидрографической информационной системы QINSy: учеб. пособие (в электронном виде). — АРФ ГМА, 2009. — 182 с.

10. *Фирсов Ю. Г.* Основы гидроакустики и использование гидрографических сонаров»: учеб. пособие / Ю. Г. Фирсов. — Изд-во «Нестор-история», 2010. — 348 с.

11. *Фирсов Ю. Г.* Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Морские электронные информационные системы». — Разд.: «Практическое освоение работы с ЭГИС НУРАСК (в электронном виде). — АРФ ГМА, 2011. — 34 с.

12. *Фирсов Ю. Г.* Электронная гидрография: учеб. пособие (в электронном виде). — ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2014. — 112 с.

13. *Фирсов Ю. Г.* Использование спутниковых систем в гидрографии: учеб. пособие (в электронном виде). — ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2014. — 154 с.

14. *Фирсов Ю. Г.* Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Морские электронные информационные системы». — Раздел: «Практическое освоение работы с ЭГИС QINSy. — АРФ ГМА, 2014. — 48 с.

15. *Фирсов Ю. Г.* Основные требования к обеспечению качества современной батиметрической (топографической) съемки / Ю. Г. Фирсов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 3 (25). — С. 171–179.

16. Standard Of Competence Of Hydrographic Surveyors. М-5. ИНО, Ninth Edition, Updated 2007.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ

УДК 656.073

Е. А. Королёва,
д-р экон. наук, проф.;

Е. В. Филатова,
канд. экон. наук, ст. преп.

ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИЦИОННОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В СФЕРЕ МОРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

QUALITY FORMATION ISSUES OF FREIGHT FORWARDING SERVICES IN SHIPPING

Выделены три группы проблем формирования качества транспортно-экспедиционного обслуживания в сфере морских перевозок. Первая группа — это проблемы, связанные с продукцией транспортно-экспедиционного обслуживания, включающие услуги по организации импортных операций, по оформлению документов в портах зарубежных стран, по продаже морских перевозок, хранением и транспортировкой грузов и оказанием иных услуг в области складского и транспортного обслуживания, а также оказание консультационных и информационных услуг российским и иностранным юридическим и физическим лицам; предоставление посреднических, юридических, маркетинговых и прочих услуг и выполнение работ для российских и иностранных юридических и физических лиц. Вторая группа — проблемы, связанные с организацией технологического процесса доставки груза: транспортно-экспедиционное обслуживание грузов в контейнерах; организация смешанных перевозок; организация сюрвейерской деятельности; страхование грузов; агентское обслуживание судов; операции по экспорту и импорту услуг; таможенное оформление грузов, перемещаемых через границу; котировка ставок и тарифов на транспортно-экспедиционные услуги клиентов и отслеживание их конкурентоспособности. Третья группа — это проблемы, связанные с формированием организационной культуры, определяющей взаимодействие потребителей с поставщиками, а именно проблемы, связанные с организацией курсов повышения квалификации, проведением семинаров и проведением социологических, конъюнктурных и иных анализов и исследований. Предложены способы решения проблем, возникающих при формировании качества транспортно-экспедиционного обслуживания, представлены мероприятия, позволяющие повысить качество транспортно-экспедиционного обслуживания.

Three groups of quality formation issues of freight forwarding services in shipping are considered. The first group includes issues associated with the production of freight forwarding services, including services on: import operations organization; documents' registration in foreign ports; sale of maritime transport; storage and transportation of goods, provision of other services in the field of warehousing and transportation services; consulting and information services to Russian and foreign legal entities and individuals; provision of mediation, legal, marketing and other services and works for Russian and foreign legal entities and individuals. The second group includes issues associated with a technological process of delivery organization including: forwarding service of containerized cargo; organization of intermodal transport; organization of a surveyor's activities; cargo insurance; Ship agent services; operations on exports and imports; customs clearance of goods transported across the border; rates and tariffs quoting for freight forwarding services to customers and their competitiveness tracking. The third group includes issues associated with the organizational culture formation that defines an interaction of consumers with suppliers, namely the issues associated with training courses, seminars organization and sociological, and other analysis and research conducting. Ways of problems solution encountered in formation of quality freight forwarding service are offered; events improving quality of freight forwarding services are submitted.

Ключевые слова: транспортно-экспедиционное обслуживание, качество, проблемы формирования качества, транспортно-экспедиционные компании.

Key words: transport-forwarding service, quality, problems of quality formation, forwarding companies.



ПРОБЛЕМЫ формирования качества транспортных услуг, в том числе транспортно-экспедиционного обслуживания (ТЭО), не являются новыми, однако эффективное их устранение требует тщательного анализа деятельности транспортно-экспедиционных компаний. В настоящее время, по оценкам многих экспертов, транспортно-экспедиционный рынок России не отвечает международным требованиям [1] – [5]. Уровень развития транспортно-экспедиционной отрасли, конкурентоспособность российских компаний, их финансовое состояние и качество предоставляемых услуг отстают от среднемировых показателей. Такое положение приводит к финансовым потерям, а также оказывает отрицательное влияние на имидж российской транспортной системы в целом [6].

Анализ деятельности транспортно-экспедиционных компаний позволил выявить собственную классификацию проблем формирования качества транспортно-экспедиционного обслуживания в сфере морских перевозок (рисунок с. 132), состоящую из трех групп, а именно:

- проблемы, связанные с продукцией транспортно-экспедиционного обслуживания;
- проблемы, связанные с организацией технологического процесса доставки груза;
- проблемы, связанные с формированием организационной культуры, определяющей взаимодействие потребителей с поставщиками.

Рассмотрим подробно каждую из указанных групп.

1-я группа — **проблемы, связанные с продукцией транспортно-экспедиционного обслуживания**, к которым можно отнести услуги по организации импортных операций; услуги по оформлению документов в портах зарубежных стран, услуги по продаже морских перевозок, хранение и транспортировка грузов, а также оказание иных услуг в области складского и транспортного обслуживания, оказание консультационных и информационных услуг российским и иностранным юридическим и физическим лицам, оказание посреднических, юридических, маркетинговых и прочих услуг и выполнение работ для российских и иностранных юридических и физических лиц.

Услуги по организации импортных операций. Если рассматривать импортные операции, то необходимо отметить, что для транспортно-экспедиционных компаний, как правило, больший интерес представляет импорт операции, чем экспорт. Связано это с получением дополнительного дохода с какой-либо операции, связанной с процессом транспортно-экспедиционного обслуживания. Однако в процессе оформления груза компания сталкивается со следующими проблемами: задержка в обмене информации между отделами или между государственными органами, участвующими в процессе оформления груза; усиление таможенного контроля над импортными грузами, особенно в настоящее время, в связи с введенными санкциями России в отношении зарубежных стран (страны ЕС, Америка, Австралия и др.), а также слабое знание тенденций развития зарубежных рынков, что, в свою очередь, не позволяет принять своевременное верное решение в отношении обрабатываемых грузов компанией.

Услуги по оформлению документов в портах зарубежных стран. Транспортно-экспедиционные компании, осуществляющие транспортно-экспедиционное обслуживание, находятся в тесном сотрудничестве с иностранными партнерами, в том числе перенимая опыт их работы. Однако компании часто сталкиваются со следующими проблемами, которые негативно сказываются на качестве транспортно-экспедиционного обслуживания, а именно:

- задержка в оформлении иностранных документов на товар, что влечет за собой задержку при таможенном оформлении товара, при вывозе его из порта и др.;
- лимит информации о традициях и обычаях портов зарубежных стран;
- неспособность быстрого реагирования на запросы партнера;
- отсутствие атмосферы взаимопомощи и поддержки.

Проблемы формирования качества транспортно-экспедиционного обслуживания

Проблемы, связанные с продукцией транспортного экспедиционного обслуживания

- услуги по организации импортных операций;
- услуги по оформлению документов в портах зарубежных стран;
- услуги по продаже морских перевозок;
- хранение и транспортировка грузов, оказание иных услуг в области складского и транспортного обслуживания;
- оказание консультационных и информационных услуг российским и иностранным юридическим и физическим лицам;
- оказание посреднических, юридических, маркетинговых и прочих услуг и выполнение работ для российских и иностранных юридических и физических лиц.

Проблемы, связанные с организацией технологического процесса доставки груза

- транспортно-экспедиционное обслуживание грузов в контейнерах;
- организация смешанных перевозок;
- организация сюрвейерской деятельности;
- страхование грузов;
- агентское обслуживание судов;
- операции по экспорту и импорту услуг;
- таможенное оформление грузов, перемещаемых через границу;
- котировка ставок и тарифов на транспортно-экспедиционные услуги клиентов и отслеживание их конкурентоспособности.

Проблемы, связанные с формированием организационной культуры, определяющей взаимодействие потребителей с поставщиками

- организация курсов повышения квалификации, проведении семинаров;
- проведение социологических, конъюнктурных и иных анализов и исследований.

Проблемы формирования качества транспортно-экспедиционного обслуживания в сфере морских перевозок

Услуги по продаже морских перевозок. Морские перевозки одновременно являются одним из наиболее сложных видов перевозки и одним из видов перевозки, характеризующихся высокими возможностями. Прежде всего, они связаны с географическими возможностями (доставка груза практически из любой точки мира) и стоимостью перевозки (один из самых дешевых), в то же время морские перевозки являются самым медленным видом перевозки. В связи с этим транспортно-экспедиционные компании завышают ставки на морскую перевозку (желают только перепродать ставку дороже), не способны своевременно доставить груз из-за нехватки оборудования (например, контейнеров) и транспортных средств (например, судов), не могут наладить быстрый контакт с новыми иностранными партнерами (например, незнание языка партнера).

Хранение и транспортировка грузов, оказание иных услуг в области складского и транспортного обслуживания. Анализ деятельности транспортно-экспедиционных компаний показал, что в настоящее время существует высокая потребность во временном хранении товара на складах как закрытого, так и открытого типа. В основном это связано с желанием клиента, который по тем или иным причинам желает «придержать» груз на складе. Однако в области складского обслуживания существуют такие проблемы, как лимит места для хранения, ограниченность транспортных средств, отсутствие желания работать с перевозками, предполагающими решение сложных проблем (например, складирование груза по марке, номенклатуре и т. д.).

Оказание консультационных и информационных услуг российским и иностранным юридическим и физическим лицам. Данная проблема является одной из важных, так как оказывает отрицательное влияние на формирование качества ТЭО, а именно:

- услуги предоставляются только частично, в силу ограниченности компетентности персонала;
- слабое знание тенденций развития иностранных компаний;
- слабое знание иностранного языка и др.

Анализ транспортно-экспедиционных компаний, осуществляющих ТЭО, позволил выделить проблему оказания посреднических, юридических, маркетинговых и прочих услуг и выполнения работ для российских и иностранных юридических и физических лиц, а именно:

- слабо выражен информационный обмен;
- недостаточное знание международного морского права;
- низкий уровень знания таможенного законодательства;
- низкий уровень привлекательности (имиджа) компании.

2-я группа – проблемы, связанные с организацией технологического процесса доставки груза, к которым можно отнести транспортно-экспедиционное обслуживание грузов в контейнерах, организацию смешанных перевозок, организацию сюрвейерской деятельности, страхование грузов, агентское обслуживание судов, операции по экспорту и импорту услуг, таможенное оформление грузов, перемещаемых через границу, котировка ставок и тарифов на транспортно-экспедиционные услуги клиентов и отслеживание их конкурентоспособности.

Транспортно-экспедиционное обслуживание грузов в контейнерах. Транспортно-экспедиционное обслуживание грузов, в том числе в контейнерах, предполагает процесс, отражающий деятельность транспортно-экспедиционного обслуживания и включающий интегральное единство трех взаимосвязанных составляющих: продукции транспортно-экспедиционного обслуживания, организации технологического процесса доставки груза и организационной культуры, определяющей взаимодействие потребителей с поставщиками транспортно-экспедиционного обслуживания. При этом транспортно-экспедиционные компании сталкиваются со следующими проблемами:

- несовершенное взаимодействие с клиентом (отсутствие опыта, знания, этикета и т. д.);
- отсутствие задачи оптимизированного обслуживания клиентов;
- невозможность создания унифицированной схемы работы всех включенных в процесс субъектов;

– отсутствие скоординированных действий между отдельными подразделениями компании (не желание сотрудничать внутри своей компании, что приводит к задержке в оформлении товара и как следствие — дополнительным расходам для клиента).

Указанные проблемы также оказывают влияние на качество транспортно-экспедиционного обслуживания.

Организация смешанных перевозок. Под смешанными перевозками обычно понимается перевозка грузов или пассажиров при помощи нескольких видов транспорта, которые служат хорошей альтернативой в случаях, когда нужно ускорить процесс доставки груза и сэкономить на стоимости доставки. В то же время при организации смешанных перевозок транспортно-экспедиционные компании сталкиваются с проблемой большого количества требований (часто необоснованных) от компаний партнеров (например, агентские, таможенные и др.).

Организация сюрвейерской деятельности. В широком смысле под сюрвейерской деятельностью понимается экспертиза и проверка грузов. Изначально данная деятельность заключалась только в проверке судов, предназначенных для перевозок, и только для того, чтобы определить, насколько судно соответствует требованиям безопасности и надежности. В более узком смысле под сюрвейерской деятельностью понимаются действия юридического лица, официально уполномоченного государственными органами и направленные на официальное определение количества и качества товара [7]. Сегодня сюрвейерская деятельность используется практически во всех сферах транспортного процесса с целью оценки качества груза, исходя из его биологического и физико-химического состояния, устранения и предотвращения спорных моментов в отношении заказчика и компании-перевозчика грузов.

Анализ деятельности компаний, осуществляющих транспортно-экспедиционное обслуживание, показал, что в них отсутствует собственный отдел, предоставляющий услуги сюрвейера, что влечет за собой дополнительные расходы, связанные с привлечением такого специалиста, а также расходы, связанные с необходимостью ожидания (потеря времени) инспекции сюрвейера (например, простой груза в порту).

Страхование грузов. Под страхованием обычно понимают отношения, складывающиеся между страхователем и страховщиком по защите имущественных интересов физических и юридических лиц (страхователей) при наступлении определённых событий (страховых случаев) за счёт денежных фондов (страховых фондов), формируемых из уплачиваемых ими страховых взносов (страховой премии) [8].

Анализ транспортно-экспедиционных компаний показал, что собственного страхового отдела компании не имеют, возникает необходимость сотрудничества со страховой компанией, и страхование грузов осуществляется с помощью привлечения посредников на основе прямого письменного поручения клиента с указанием страховой суммы и покрываемых рисков. При этом компании не имеют никакой коммерческой выгоды от участия в таких сделках. Как правило, при отсутствии прямого письменного поручения транспортно-экспедиционная компания предполагает, что все риски в отношении экспедирования, перевозки и хранения груза клиентом застрахованы. Однако большинство клиентов, пытаясь сэкономить свои расходы, выбирают условия поставки, не предусматривающие страхование груза, и в случае порчи или утраты груза все претензии пытаются предъявить той компании, которая занималась доставкой его груза. Как следствие, обе стороны теряют время, ожидая решения проблемы или получают дополнительные расходы (например, простой груза, дополнительные погрузочно-разгрузочные работы с грузом, расходы, связанные с привлечением сюрвейера и др.), что, в конечном итоге, оказывает влияние на качество транспортно-экспедиционного обслуживания.

Агентское обслуживание судов. Обычно под агентированием морских судов понимается комплекс услуг (обеспечение выполнения таможенных формальностей, предоставление буксиров, лоцманской проводки, обеспечение судна топливом, продовольствием, содействие в оперативном выполнении погрузочно-разгрузочных операций и др.), выполняемых морским агентом при заходе судна в торговый порт.

При агентском обслуживании возникают следующие проблемы, которые также оказывают отрицательное влияние на качество транспортно-экспедиционного обслуживания, а именно:

- недостаточный уровень культуры общения;
- несвоевременное информирование о местоположении и состоянии судна;
- слабое знание английского языка.

Операции по экспорту и импорту услуг. При организации данных услуг транспортно-экспедиционные компании сталкиваются со следующими проблемами, которые также оказывают влияние на предоставление качественного транспортно-экспедиционного обслуживания:

- проблемы с таможенным оформлением;
- частое изменение нормативных актов и отсутствие этих знаний у экспедиторов;
- большая текучесть кадров, низкий уровень компетентности.

Таможенное оформление грузов, перемещаемых через границу. Таможенное оформление грузов является неотъемлемой частью предоставления качественного транспортно-экспедиционного обслуживания. При таможенном оформлении товара транспортно-экспедиционные компании сталкиваются со следующими проблемами:

- несовершенное таможенное законодательство;
- препятствия для клиентов (очередность, коррупция, некомпетентность сотрудников);
- сложности с оформлением транзитных грузов.

Данного рода проблемы при таможенном оформлении груза влекут за собой дополнительные расходы для клиента, в том числе для транспортно-экспедиционной компании, либо потери клиента для компании.

Котировки ставок и тарифов на транспортно-экспедиционные услуги клиентов и отслеживание их конкурентоспособности. Данные проблемы предполагают:

- отсутствие гибкости руководства по вопросу снижения тарифных ставок;
- отсутствие информации по ставкам клиента;
- ошибочные управленческие решения из-за отсутствия информации по ставкам;
- неполное представление о себестоимости всех составляющих для котировок;
- несогласованность действий между отделами и компаниями.

3-я группа — **проблемы, связанные с формированием организационной культуры, определяющей взаимодействие потребителей с поставщиками**, к которым можно отнести организацию курсов повышения квалификации, проведении семинаров и социологических, конъюнктурных и иных видов анализа и исследований.

Организация курсов повышения квалификации, проведение семинаров. Вопросы кадровой политики в транспортно-экспедиционных компаниях стоят очень остро. Это связано с тем, что в компаниях практически отсутствует система подготовки и переподготовки персонала. Как правило, это сводится только к передаче опыта старшего работника в том или ином отделе компании. Транспортно-экспедиционные компании в погоне за минимизацией расходов не желают тратить деньги на курсы повышения квалификации или проведение семинаров, приглашая специалиста со стороны. В случае, если в бюджете компании предусмотрена такая статья расходов, то в основном отправляется на такие курсы высший руководящий состав. Специалисты, которые занимаются оперативной повседневной работой, набираются опыта и знаний, набивая свои собственные «шишки», и если нет никакого движения по карьерной лестнице, стараются поменять работу, подыскивая для себя оптимальный вариант. Более того, существует проблема «освободившегося вакантного места» — руководству проще принять на работу специалиста со стороны, предлагая заработную плату за еще не выполненную работу, чем подготовить своего же сотрудника в компании. В связи с этим в транспортно-экспедиционных компаниях существует проблема текучести кадров, что оказывает негативное влияние на качество транспортно-экспедиционного обслуживания, вследствие чего компания несет финансовые потери.

В большинстве случаев складывается две ситуации:

- 1) клиент покидает компанию и идет за «своим менеджером-экспедитором»;

2) клиент остается в компании, однако терпит дополнительные расходы из-за некомпетентности сотрудника и, как правило, просит скидку либо выдвигает финансовую претензию компании.

Проведение социологических, конъюнктурных и иных видов анализа и исследований. Транспортно-экспедиционные компании, как правило, не проводят социологических, конъюнктурных и иных видов анализа и исследований своей работы, что, в свою очередь, не позволяет своевременно выявить отрицательные стороны работы, оказывающие влияние на качество транспортно-экспедиционного обслуживания.

Способами решения ранее указанных проблем является выполнение следующих процедур [9]:

- 1) определение потребности клиента в услуге или услугах;
- 2) подбор и оценка альтернативы возможных вариантов предоставляемой услуги;
- 3) анализ и оценка качества предоставляемой услуги;
- 4) разработка мероприятий, позволяющих повысить качество и эффективность предоставляемой услуги, а также формирование алгоритма их прохождения.

При этом разработка мероприятий, которые позволяют повысить качество ТЭО, предполагает:

- взаимодействие с клиентами и партнёрами компании с целью улучшения качества ТЭО;
- контроль качества обслуживания клиентов компании и выдача рекомендаций по его улучшению;
- регулярное информирование клиентов компании по оперативным вопросам;
- разработка кадровой политики компании;
- разработка методических положений по работе компании (например, регламенты работы, специализированные электронные программы, кодекс компании и др.);
- внесение на рассмотрение руководства предложений по оптимизации работы, документооборота, совершенствование форм и методов труда и др.

Предоставление транспортно-экспедиционного обслуживания высокого качества является важным аспектом повышения конкурентоспособности транспортно-экспедиционной компании, достичь которой можно при условии соответствия определенным стандартам обслуживания. Данные стандарты могут быть индивидуальными для каждой конкретной компании и определяться в зависимости от её стратегических и оперативных целей. Они должны соответствовать техническим, информационным, кадровым, методическим, организационным и другим возможностям компании [10].

Усилия по развитию транспортно-экспедиционной деятельности в России должны быть направлены как на ускорение продвижения товаров от производителя к потребителю, которые обеспечивают соблюдение интересов участвующих в процессе сторон и создание равных и благоприятных условий для всех участников рынка транспортно-экспедиционных услуг, так и на повышение их качества. В этой связи своевременное выделение проблем, влияющих на формирование качества транспортно-экспедиционного обслуживания, выступает важным этапом оптимизации экспедиционной деятельности.

Список литературы

1. Григорян М. Г. Управление изменениями на транспортном предприятии / М. Г. Григорян // Журнал университета водных коммуникаций. — 2011. — № 2. — С. 192–197.
2. Королёва Е. А. Основы стратегического управления транспортно-экспедиционной деятельностью: учеб. пособие / Е. А. Королёва, А. В. Макаренко. — СПб.: Изд-во СПбГУВК, 2009. — 173 с.
3. Королёва Е. А. Сущность качества транспортно-экспедиционного обслуживания / Е. А. Королёва, Е. В. Филатова // Журнал университета водных коммуникаций. — 2013. — № 3 (19). — С. 152–157.

4. Куренков П. В. Проблемы взаимодействия субъектов транспортного рынка при осуществлении внешнеторговых перевозок / П. В. Куренков, В. С. Забненков // Логистика сегодня. — М.: Изд-во ООО «Объединенная редакция». — 2011. — № 2. — С. 104–109.

5. Куренков П. В. Классификация участников рынка товародвижения, выполняющих транспортно-логистические услуги / П. В. Куренков, А. С. Балалаев, В. С. Забненков // Логистика сегодня. — М.: Изд-во ООО «Объединенная редакция». — 2011. — № 4. — С. 242–250.

6. Филатова Е. В. Современный морской порт как составляющая транспортной системы / Е. В. Филатова. — Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. — 72 с.

7. Об утверждении инструкции по осуществлению таможенного контроля за количеством и качеством товаров с использованием актов сюрвейерских экспертиз: [приказ Балтийской таможни от 03.09.1998 г. № 223 (ред. от 14.09.2000 г.)]. — Режим доступа: www.consultant.ru.

8. Википедия — свободная энциклопедия. — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Страховая_премия.

9. Макашина Е. В. Транспортное экспедирование в структуре современного морского порта / Е. В. Макашина. — Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2012. — 64 с.

10. Макашина Е. В. Идентификация проблем управления качеством транспортно-экспедиционных услуг как необходимый этап оптимизации экспедиционной деятельности // Сб. ст. 5-й Междунар. науч.-практ. конф. «Эволюция общественных отношений в процессе российской модернизации: социальный и региональный аспекты». — Пенза: Приволжский Дом знаний, 2012. — С. 87–89.

УДК 656

О. М. Вербило,
аспирант

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ПОРТОВЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ

POSSIBILITIES TO INCREASE PORT CONTAINER TERMINAL CAPACITY

Рассмотрен один из основных показателей эффективности работы портового контейнерного терминала – срок хранения контейнеров. Выявлено его влияние на эксплуатационную пропускную способность склада и всего терминала. Проанализирована ситуация, в которой оказались контейнерные терминалы Санкт-Петербурга в середине 2000-х годов. Выявлено, что основной причиной низкой пропускной способности порта стало длительное хранение контейнеров. В свою очередь это было следствием существовавшей практики внутрипортового экспедирования и сроков таможенных операций. В статье предложен анализ операций, осуществляемых с контейнером в порту. Приведены хронология и сроки этапов портового экспедирования в 2007 и 2013–2014 годах. Установлены организационные мероприятия, позволяющие значительно сократить сроки хранения контейнеров и тем самым увеличить пропускную способность склада и всего контейнерного терминала.

Dwell time (period of container storage) is one of the main indexes showing container terminal effectiveness. It directly influences container terminal capacity. In the mid of 2000s Russian terminals faced huge increase of container flow. Terminals were appeared not ready. Port forwarding practice and customs clearance procedures did not permit fast container handling. Available terminal capacity was exhausted, huge vessels and trucks queues arose. Such congestion required careful revision and optimization of all procedure relating period of container storage. The article considers stages of port forwarding and factors influencing the period of container storage in ports. Management measures and ways of storage period decrease, which result to increase of container terminal capacity, are discovered.

Ключевые слова: пропускная способность контейнерного терминала, срок хранения, этапы внутрипортового экспедирования.

Key words: container terminal capacities, period of storage, port forwarding procedures.

МОРСКИЕ порты и контейнерные терминалы играют ключевую роль в функционировании транспортных систем. Порты являются базовыми элементами международных транспортных цепей поставок. Грузовладелец при выборе конкретного порта или терминала в комплексе оценивает продвижение груза через тот или иной регион, сравнивает различные цепи поставок по основным критериям: стоимости, времени и надежности. Конкурентоспособность транспортной цепи зависит от эффективной работы портов. Повышение пропускных способностей контейнерных морских терминалов является одной из приоритетных задач повышения конкурентоспособности и развития транспортной систем [1], [2].

Под пропускной способностью здесь понимаем максимальный годовой контейнеропоток через терминал, соответствующий критериям оптимальности, назначаемым его оператором (владельцем бизнеса). Чаще всего, это минимум капитальных и эксплуатационных затрат по терминалу на единицу контейнеропотока. Но если бизнес владельца включает еще, например, и перевозку контейнеров морским и сухопутным транспортом, критерий оптимальности может измениться с учетом требований эффективности и конкурентоспособности всей контейнерной линии [3].

Обычно специализированный портовый контейнерный терминал содержит следующие технологические элементы (рисунок):

- морской грузовой фронт (МГФ);
- склад для контейнеров (СКЛАД);
- тыловой (железнодорожный и автомобильный) грузовой фронт (ТГФ).

Каждый из этих элементов характеризуется своей пропускной способностью, а общая пропускная способность терминала определяется лимитирующим значением пропускной способности одного из технологических элементов [3].



Условная схема технологических элементов портового контейнерного терминала

Существует понятие проектная пропускная способность контейнерного терминала, которая рассчитывается при проектировании терминала исходя из характеристик грузопотока, указываемых заказчиком, либо рекомендаций норм технологического проектирования [4].

Фактическая (эксплуатационная) пропускная способность может значительно отличаться от проектной пропускной способности. В процессе эксплуатации она поддается управлению путем внедрения различных коммерческих, технических и организационных мероприятий [3]. Некоторые из этих мероприятий, позволившие получить реальный прирост пропускной способности, будут рассмотрены далее на примере ведущих контейнерных терминалов Санкт-Петербурга.

Одной из основных характеристик грузопотока является срок технологического накопления контейнеров (срок хранения в порту). Нормы рекомендуют использовать в расчетах срок семь-восемь дней [4], [5], но как показывает практика, срок хранения может сильно отличаться как в большую, так и в меньшую сторону, при этом сильно колеблется пропускная способность склада и всего терминала. К сожалению, оператор терминала не может напрямую влиять на срок хранения контейнеров. Существует ряд обязательных процедур и формальностей, которые проходит контейнер за время пребывания в порту. Помимо терминала в этом процессе задействованы агенты судоходных линий, таможенные органы, прочие контролирующие органы, таможенный брокер, экспедитор. Полный комплекс мероприятий, осуществляемых с контейнером, обычно называют

внутрипортовым экспедированием. Инициатором всех процедур является экспедитор, выступающий как представитель грузовладельца. Задержки со стороны таможни и других участников на разных этапах экспедирования сказываются на общих сроках нахождения контейнера в порту и общей пропускной способности порта [6].

Оператор терминала имеет возможность косвенно влиять на сроки хранения путем тарифного регулирования и организационных мероприятий, но для значительного сокращения сроков хранения и повышения пропускной способности необходима оптимизация большинства процедур портового экспедирования и таможенного оформления. Это возможно лишь при консолидации усилий всех участников транспортного процесса. Показательным является опыт порта Санкт-Петербург.

С начала 2000-х гг. наблюдался постоянный рост контейнерных перевозок через российские порты. В 2005–2007 гг. произошло резкое увеличение перевозок. По оценкам экспертов ежегодный прирост в этот период составил около 20 – 25 % в год [7], [8]. Это стало серьезным испытанием для контейнерных терминалов Санкт-Петербурга, поскольку состояние портовой инфраструктуры, практика экспедирования и сроки таможенного оформления грузов не позволяли обработать весь грузопоток. Терминалы быстро достигли предела пропускных способностей. Образовались большие очереди судов. В ожидании выгрузки морские перевозчики (контейнерные линии) несли значительные расходы. Некоторыми терминалами была введена система квотирования мест хранения [9] — каждой линии выделялась квота под хранение определенного количества контейнеров. В случае превышении квоты терминал мог отказать в выгрузке новых контейнеров данной линии. Ей предлагалось ожидать, пока экспедиторы не вывезут с терминала хранящиеся контейнеры данной линии и не освободят место под приемку новых контейнеров. Чтобы ускорить вывоз контейнеров, линии ввели штрафы за длительное хранение (LATE PICK UP FEE) в размере 250–300 USD.

Помимо этого начали скапливаться партии российских грузов в Европе. Традиционно грузы, перевозимые из Юго-Восточной Азии в Санкт-Петербург, перегружаются в Европе с океанских магистральных судов на фидерные, при этом время ожидания в порту перевалки составляет 7–10 дней. Так как наши терминалы не могли своевременно принимать весь грузопоток, в портах перевалки начали скапливаться большие партии российских грузов в ожидании погрузки на фидерные суда. Сроки ожидания в Европе в пиковые периоды достигали двух месяцев, общее транзитное время перевозки могло доходить до 90–100 дней, при норме 45 дней. Судоходные контейнерные линии несли большие дополнительные расходы по хранению грузов в портах перевалки, вследствие чего была введена надбавка к фрахту PCS (port congestion surcharge) в размере 800 USD / TEU. Все эти расходы ложились на конечных клиентов – получателей грузов.

Помимо задержек с обработкой флота существовали большие задержки в обработке автотранспорта. Погрузка автотранспорта в порту осуществлялась в порядке живой очереди по принципу «кто первый приехал, того первым обработали». Порт обрабатывал контейнеры, не зная, какой из них будет следующим, это увеличивало сроки обработки автотранспорта, а также приводило к дополнительным непроизводительным перемещениям контейнеров на сортировочной площадке. Результатом такой схемы работы стало образование больших очередей автотранспорта. Машины могли простоять до двух-трех дней в ожидании въезда в порт. Это создавало колоссальную нагрузку на прилегающую дорожно-транспортную сеть и обостряло экологическую ситуацию [10]. Задержки в обработке грузов также возникали со стороны таможенных органов.

Вся система «флот — порт — автотранспорт» работала крайне неэффективно, оборачиваемость флота и автотранспорта была очень низкой. Суда вместо возможных четырех-пяти круговых рейсов в месяц из Европы в Санкт-Петербург делали только два-три. Автомобили вместо восьми-девяти возможных рейсов на Москву могли сделать только пять-шесть. Отчасти это было следствием отстающей инфраструктуры, но в большей степени — неспособности и неготовности

имеющейся организационной системы и сложившейся рабочей практики справиться с возросшим грузопотоком. Требовался пересмотр всех процедур.

Были проанализированы время нахождения контейнера в порту, операции, которые с ним выполняются, а также факторы, влияющие на продолжительность операций. В табл. 1 представлена хронология и время технологических операций, производимых с контейнером на терминале в 2007 г. (на основании данных ведущих экспедиторских компаний).

Таблица 1

**Хронология и средние сроки выполнения операций
при обработке контейнеров в порту (2007 г.)**

| Наименование операции | Продолжительность операции, ч |
|--|-------------------------------|
| 1. Постановка судна к причалу. Комиссия по приходу, подготовка к выгрузке | 6 |
| 2. Грузовые операции (выгрузка / погрузка) | 36 |
| 3. Подписание приемного акта, передача документов агенту линии | 5 |
| 4. Получение экспедитором документов (копий коносаментов, разрядок) у агента линии | 6 |
| 5. Подготовка ГТД, подача и выпуск | 76 |
| 6. Получение релиза (разрешение на вывоз) в бумажном виде | 2–8 |
| 7. Проводка в таможне и по складу, снятие с учета | 12 |
| 8. Оформление заявки на вывоз | 3 |
| 9. Подача автомобиля в порт, въезд. | 26 |
| 10. Погрузка контейнера на автомобиль, Подписание ПСО, выезд из порта | 3–4 |
| Общее время | 183 (7 дн., 15 ч) |

Исходя из продолжительности каждой операции, общее среднее расчетное время пребывания контейнера на терминале составляет 183 ч. Данный расчет подразумевает, что каждая последующая операция начинается сразу после окончания предыдущей, на практике это бывает редко. Необходимо еще учитывать график работы таможни и других контролирующих органов. Иногда временной разрыв между операциями мог достигать до нескольких суток, особенно это касалось графика работы агентов линий. Например, при окончании выгрузки контейнеров в пятницу вечером выдача документов в офисе агента линии могла начаться только в понедельник. Большие простои были связаны с процедурой досмотра контейнеров, на которую могло уйти около трех суток. Реальный срок хранения контейнеров в период 2005–2008 гг. часто доходил до 15 дней и более.

В этих условиях пропускная способность склада была очень низкой, склады являлись лимитирующим звеном работы терминалов. При растущих потоках контейнеров это обстоятельство негативно сказывалось на конкурентоспособности порта Санкт-Петербург, большая часть грузов уходила в Прибалтику и Финляндию.

За прошедший период операции на терминалах и технология обработки и экспедирования грузов претерпели серьезные изменения. Обострение конкурентной борьбы, а также кризис конца 2008–2009 гг. заставили ведущие терминалы Санкт-Петербурга и все транспортное сообщество, включая судоходные линии, экспедиторов и таможенные органы принять ряд мер по оптимизации процедур и сокращению сроков хранения контейнеров. О серьезных изменениях свидетельствуют данные 2013–2014 гг. (табл. 2).

Таблица 2

Последовательность и средние сроки выполнения операций при обработке контейнеров в порту (2013 – 2014 гг.)

| Наименование операции | Продолжительность операции, ч | Комментарии |
|--|-------------------------------|--|
| 1. Постановка судна к причалу. Комиссия по приходу, подготовка к выгрузке | 3 | — |
| 2. Передача документов (копии коносаментов) агенту линии | 2 | Оригиналы документов теперь поступают в офис агента линии сразу по окончании комиссии |
| 3. Грузовые операции (выгрузка / погрузка) | 24 | Документ, подтверждающий поступление контейнера на терминал, формируется автоматически через 1 – 2 часа после выгрузки |
| 4. Получение экспедитором документов (копий коносаментов, разрядок) у агента линии | 1 | Получение документов возможно сразу после появления их в офисе агента линии |
| 5. Подготовка ГТД, подача и выпуск | 18 | Возможна предварительная подача, до захода контейнера |
| 6. Получение релиза (разрешение на вывоз) в электронном виде | 0,1 | Возможно получение релиза одновременно с получением документов |
| 7. Снятие с учета в таможене и на складе | 2 | Происходит автоматически после выпуска из таможенного оформления без участия экспедитора |
| 8. Оформление заявки на вывоз | 0,1 | — |
| 9. Подача автомобиля в порт, въезд, погрузка контейнера на автомобиль | 2 | — |
| 10. Подписание ПСО, выезд из порта | 1 | — |
| Общее время | 65,2 (2 дн. 17,2 ч) | — |

Как видно из представленных данных, время прохождения каждой операции значительно сократилось, более того, по заявлениям экспертов появилась возможность осуществлять некоторые операции параллельно, а не последовательно. Стала возможной обработка контейнеров с выполнением всего комплекса операций в считанные дни и часы. Большинство контейнеров покидает порт в первые два-три дня, некоторые контейнеры обрабатываются в рекордные сроки — в течение 6–8 ч.

Положительных результатов позволили добиться приведенные далее изменения в работе контейнерных терминалов, процедуре экспедирования и таможенного оформления.

1. Увеличение пропускной способности МГФ

1.1. Обновлено перегрузочные мощности основных контейнерных терминалов, закуплены новые контейнерные перегружатели STS, порталы АКВ, RTG, SC, RS

1.2. Внедрены внутренние ИС терминалов, позволившие оптимизировать организацию работ на терминале и использование оборудования.

2. Увеличение пропускных способностей ТГФ

2.1. Введена система тайм-слотирования для организации въезда автотранспорта на терминал, согласно которой время в течение суток разбивается на временные окна (тайм-слоты) по три-четыре часа. Терминал может обработать фиксированное количество автотранспорта в течение одного тайм-слота. Клиенты терминала оформляют заявки на вывоз контейнеров в доступные слоты удаленно через web-сервис и в назначенное время планируют подачу автотранспорта. Заявки можно оформить на три дня вперед. Система безопасности обеспечивается за счет использования

электронно-цифровой подписи и аккредитации автотранспорта. Данная система позволила упорядочить внутреннюю работу терминалов в зоне ТГФ, значительно сократить сроки обработки автотранспорта и ликвидировать очереди на въезде в порт.

3. Изменения в процедуре портового экспедирования грузов

Произошел переход на электронный документооборот между терминалами, судоходными линиями, таможенными органами и экспедиторами.

3.1. Документ, подтверждающий поступление контейнера на терминал, формируется в момент выгрузки и автоматически пересылается экспедитору по почте, либо выгружается им с WEB-портала терминала (ранее оригинал необходимо было проштамповывать и заверить в соответствующих отделах порта, что требовало от экспедитора личного присутствия на терминале).

3.2. Значительно сократилось время получения документов (копий коносаментов) в линиях, стало доступным получение документов в выходные дни. В большинстве линий введена система временных окон на получение документов. Ранее экспедитор получал документы в порядке живой очереди, это могло занять целый день, сегодня это занимает не более нескольких часов. Ряд линий по согласованию с таможенной начал выдачу коносаментов в электронном виде, в этом случае у экспедиторов отпадает необходимость посещения линии.

3.3. Распоряжение о выставлении контейнера на досмотр требовало от экспедитора оформления заявок, которые было необходимо согласовывать с линией, портом и таможенной. Сейчас процедура удаленно оформляется за считанные минуты. Сервис доступен 24 ч в сутки, что делает возможным выставление контейнера на досмотр сразу после поступления заявки.

3.4. Получение разрешения на вывоз груза (релиз). Перед вывозом груза экспедитор должен получить разрешение от судоходной линии – письменное указание порту, разрешающее выдачу контейнера экспедитору (дается при условии оплаты фрахта и сдаче оригиналов коносаментов). Ранее экспедитор должен был приехать в офис линии, получить бумажный релиз и отвезти его в ТЭЦ порта, что могло занять полдня. Сейчас релиз отправляется агентами линии на терминал в электронном виде по внутренним каналам связи в течение 5 мин.

3.5. Оформление заявок на вывоз осуществляется экспедиторами удаленно в электронном виде через систему тайм-слотирования на WEB-портале терминала, при этом программа автоматически проверят наличие разрешения на вывоз со стороны таможенных органов и контейнерной линии.

4. Значительные шаги для сокращения сроков таможенного оформления, предпринятые Балтийской таможней

4.1. Введена процедура электронного декларирования. Подача декларации теперь осуществляется брокером удаленно, присвоение и обработка декларации выполняются инспектором без присутствия декларанта. Инспектор обязан принять декларацию в день подачи.

4.2. Активно используется возможность предварительного декларирования, т. е. до захода грузов в порт. Проверка всех документов, таможенных рисков осуществляется инспектором до прибытия контейнера. После выгрузки контейнера на терминал остается формальная процедура выпуска груза, которая может занять всего несколько часов.

4.3. Сроки обязательного рассмотрения декларации сокращены.

4.4. Упрощена процедура передачи информации о выпущенных грузах между таможней и портом. Раньше экспедитор предоставлял оригинал выпущенной декларации в складскую группу порта, где происходила процедура снятия с учета. Теперь обмен данными происходит напрямую между таможней и портом в электронном виде. На данную процедуру установлен двухчасовой норматив.

5. Повышение тарифов на хранение в порту и введение штрафных санкций со стороны линий за поздний вывоз

Как отмечалось ранее, линиями были введена система штрафов при превышении определенного срока хранения. Основные контейнерные терминалы Санкт-Петербурга несколько раз за прошедший период повышали тарифы. Свободный период хранения импортных грузов

сократился до четырех дней. При превышении этого срока начинается период платного хранения. В условиях жесткой конкуренции экспедиторы и брокеры стремятся максимально быстро обработать грузы в порту, избегая дополнительных расходов.

6. Внешние факторы

6.1. Обострение конкуренции между экспедиторами.

В течение прошедшего периода увеличилось в разы количество экспедиторских и брокерских компаний, в то же время с 2009 г. темпы роста грузопотока снизились. Это привело к усилению конкуренции и заставило экспедиторов оптимизировать расходы и сокращать сроки обработки грузов.

6.2. Обострение конкуренции между российскими портами разных бассейнов. Большая часть российских контейнерных грузов перевозится из Юго-Восточной Азии в Москву и Московскую область.

Существует ряд альтернативных маршрутов:

- морем через порт Санкт-Петербург, далее автотранспортом или ж/д;
- морем через Владивосток, далее по ж/д;
- морем через Новороссийск, далее автотранспортом или ж/д;
- по суше через Казахстан по ж/д;
- по суше через Забайкальск по ж/д.

По статистике наибольшее количество грузов отправляется через Санкт-Петербург, однако за последние пять лет активно начали развиваться перевозки через Владивосток. Был запущен ряд ускоренных контейнерных поездов с транзитным временем Владивосток — Москва 10–12 дней. Оптимизирована работа контейнерных терминалов портов Владивосток и Восточный, улучшена работа Владивостокской таможни. В результате транзитное время перевозки из Юго-Восточной Азии в Москву через Владивосток сегодня составляет 30–35 дней, в то время как через Санкт-Петербург — 40–50 дней. Несмотря на более высокую стоимость доставки через Владивосток, короткое транзитное время является серьезным преимуществом. Данные обстоятельства также подталкивают экспедиторов и брокеров к максимально быстрой обработке грузов в порту и сокращению возможных расходов.

7. Предварительное планирование

По мнению ведущих экспедиторских компаний, важным элементом эффективной организации всего транспортного процесса и отдельно внутрипортового экспедирования является предварительное планирование всех операций и оперативный контроль. За прошедший период значительно вырос профессионализм всех участников транспортного процесса.

Анализируя ранее изложенное, можно сделать вывод о том, что общему сокращению сроков хранения в порту способствуют как принятые меры всеми участниками процесса (терминалами, линиями и экспедиторами, таможенными органами), так и внешние факторы обострения конкуренции, играющие в данном случае положительную роль. По данным Балтийской таможни сегодня сроки хранения контейнеров в порту составляют три-четыре дня [11], общая пропускная способность контейнерных складов и терминалов выросла в разы.

Таким образом, были проанализированы возможности повышения пропускных способностей контейнерных терминалов на этапе эксплуатации. Как показывает практика, большое значение для эффективной работы контейнерных терминалов имеют сроки хранения контейнеров в порту, увеличение которых может привести к серьезным заторам и даже полной блокировке работы порта. Для сокращения сроков хранения недостаточно улучшения инфраструктуры или расширения складских площадей, требуется пересмотр и оптимизация всех этапов прохождения груза через порт. Добиться существенного результата возможно лишь при консолидации усилий всех участников транспортного процесса. Наглядным примером является передовой опыт порта Санкт-Петербург, где благодаря эффективному взаимодействию терминалов, таможенных органов, судоходных линий и экспедиторов удалось значительно сократить сроки нахождения грузов в порту.

Список литературы

1. *Титов А. В.* Порт в транспортной логистике / А. В. Титов, Е. В. Синельщиков, Д. А. Толстых, Н. А. Леонтьева / под ред. А. Л. Степанова. — СПб.: Лион, 2008. — 228 с.
2. *Степанов А. Л.* Эволюция портов и экспедиторской деятельности – основа транспортной логистики / А. Л. Степанов. // Эксплуатация морского транспорта. — 2007. — № 4 (50). — С. 6–9.
3. *Погодин В. А.* Обоснование оптимальных технологических параметров контейнерных комплексов: автореф. дис. ... канд. техн. наук (05.22.19). — М., 1990. — 22 с.
4. Руководство по технологическому проектированию перегрузочных комплексов, специализированных для контейнеров: РД 31.31.37.32-88. — М., 1988. — 71 с.
5. Нормы технологического проектирования морских портов: РД 31.3.05-97 // Утв. М-вом транспорта Российской Федерации 25.05.97: ввод в действие с 01.06.97. — М.: ЭНАС, 2000. — 110 с.
6. *Лимонов Э. Л.* Внешнеторговые операции морского транспорта и мультимодальные перевозки / Э. Л. Лимонов. — 3-е изд. — СПб.: ООО «Модуль», 2006. — 379 с.
7. Российский рынок международных контейнерных перевозок: современное состояние и перспективы до 2015 г. Аналитический обзор // <http://marketing.rbc.ru/> URL: http://marketing.rbc.ru/download/research/demofile_562949953546396 (дата обращения: 01.12.2014).
8. Национальная контейнерная компания // <http://www.federalexpo.ru/> URL: http://federalexpo.ru/netcat_files/108/139/h_b7b51db73eeb2495ab3bf1353188746f (дата обращения: 30.09.2011).
9. ПКТ увеличил квоты для импортных контейнеров // <http://www.loglink.ru> URL: <http://www.loglink.ru/news/18952> (дата обращения: 01.12.2014).
10. Грузовикам не место на улицах // <http://ppt.ru> URL: <http://ppt.ru/news/35810> (дата обращения: 12.03.2007).
11. *Воронина Ю.* Таможня ускоряет работу порта / Ю. Воронина. // Таможенные новости. — 2013. — № 12 (181). — С. 7.

УДК 338.47:656

Е. Н. Ковалёва,
соиск.;

В. А. Водахова,
канд. физ.-мат. наук, доц.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ, ОКАЗЫВАЕМЫХ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ВНУТРЕННЕГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE QUALITY OF TRANSPORT SERVICES AT THE ENTERPRISES OF INLAND WATER TRANSPORT

Статья посвящена актуальным аспектам комплексной оценки и управления качеством транспортных услуг на водном транспорте. Предложена методика оценки влияния внешних и внутренних факторов на показатели качества транспортных услуг, позволяющая производить экзогенную составляющую комплексной оценки транспортных услуг. Предложены квалиметрические и таксонометрические методы в системе эндогенной оценки качества транспортных услуг на водном транспорте, позволяющие нивелировать трудности определения интегрального показателя качества подобного рода транспортных услуг. Разработана методика экзогенной оценки показателей качества транспортных услуг, позволяющая производить комплексную оценку их качества на предприятиях внутреннего водного транспорта. Приведены экзогенная и эндогенная оценки, с помощью которых возможно повышение объективности комплексной оценки качества транспортной услуги на водном транспорте. Разработаны методические положения на основе

комплексной оценки качества транспортных услуг на водном транспорте и построения схемы управления качеством транспортных услуг на предприятиях внутреннего водного транспорта.

The article is devoted to the aspects of the comprehensive assessment and quality management of transport services to water transport. The technique of an estimation of influence of external and internal factors on the quality of transport services, allowing the exogenous component of the comprehensive assessment of transport services. The proposed qualitative and taxonomic methods in endogenous assess the quality of transport services to water transport, allowing to eliminate the difficulty of defining the integral indicator of the quality of this kind of transport services. The developed method exogenous indicators of the quality of transport services, enabling a comprehensive assessment of their quality in enterprises of inland waterway transport. Given exogenous and endogenous evaluation, with which it is possible to increase the objectivity of the comprehensive assessment of the quality of transport services to water transport. Methodological provisions on the basis of a comprehensive assessment of the quality of transport services to water transport and build quality management of transport services at the enterprises of inland waterway transport.

Ключевые слова: оценка, управление, качество, транспортная услуга, водный транспорт, показатель, предприятие.

Key words: assessment, management, quality, transport service, water transport, indicator, company.

ПОВЫШЕНИЕ эффективности транспортного обслуживания и перманентное улучшение качества перевозок является общей тенденцией развития транспортных систем во всех странах мира с целью полного удовлетворения потребностей общества на перемещение грузов и пассажиров. Проблема качества транспортных услуг обусловлена диссонансом между современным состоянием материальной базы водного транспорта и возрастающими требованиями потребителей транспортных услуг [1]. На основе анализа отечественных и зарубежных исследований в сфере грузовых и пассажирских перевозок установлено, что для повышения качества транспортных услуг на водном транспорте необходимо системное преобразование процессов предприятий водного транспорта, предшествующих стадии оказания транспортных услуг [2].

Процесс управления качеством транспортных услуг предприятия водного транспорта целесообразно представить в виде схемы, приведенной на рис. 1, практическая реализация которой позволит решить следующие задачи, заключающиеся в реализации функций управления на предприятии водного транспорта [3]:

- анализ системы управления качеством транспортных услуг на водном транспорте с целью выявления негативных тенденций в управлении качеством транспортных услуг;
- планирование процесса формирования и управления качеством транспортных услуг на водном транспорте;
- организация системы управления качеством транспортных услуг на водном транспорте с целью реализации комплекса мер по повышению качества транспортных услуг [4];
- контроль формирования и управления качеством транспортных услуг на водном транспорте, выявляющий необходимость в оценке качества транспортных услуг на водном транспорте;
- формирование методики комплексной оценки качества транспортных услуг на водном транспорте на основе адаптации дифференцированных методов оценки качества транспортных услуг.

Осуществление контроля качества региональных транспортных услуг на внутреннем водном транспорте невозможно без его оценки по всей его совокупности характеризующих его свойств. Для этого необходимо иметь достаточно полную и надежную информацию о качестве региональных транспортных услуг на внутреннем водном транспорте, измеряемую количественно, т.е. удобную для использования в системе управления [5]. В управлении качеством транспортных услуг на водном транспорте большое значение имеет разработка критериев оценки различных видов деятельности и процессов предприятия водного транспорта, основанных на расчете комплексной количественной оценки качества, что представляет собой сложную и не до конца решенную проблему [6].

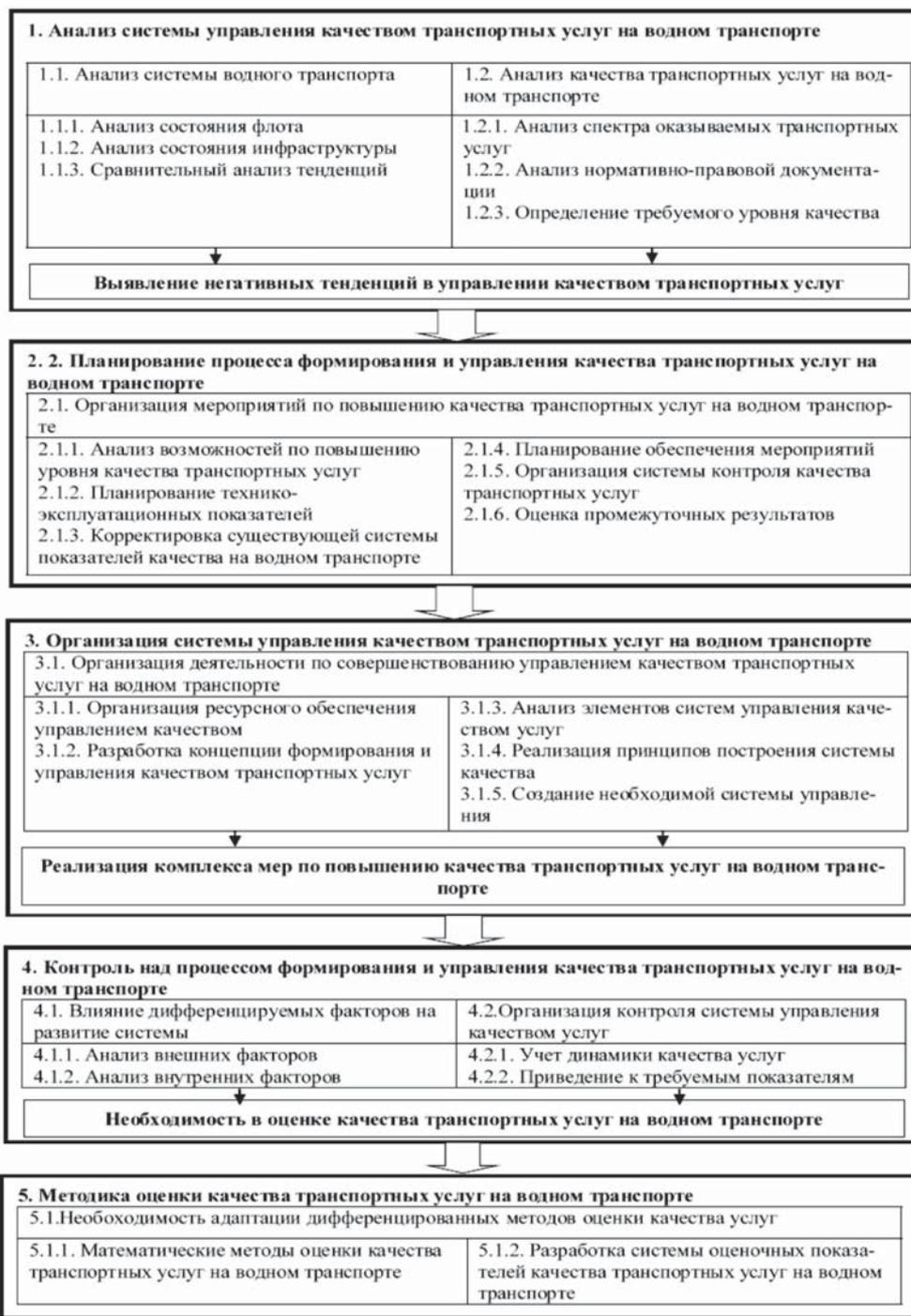


Рис. 1. Схема управления качеством транспортных услуг на водном транспорте

На основе синергии экзогенной и эндогенной оценки возможно повышение объективности комплексной оценки качества (комплексный показатель качества — КПК) транспортной услуги на водном транспорте (рис. 2). Синергетический эффект в данном случае заключается в повышении качества транспортных услуг на водном транспорте в результате интеграции оценочных показателей (I) и интегрального показателя качества транспортных услуг на водном транспорте (K_k), в единую систему за счет эмерджентности, которая проявляется в наличии специфики водного транспорта, не присущих другим видам транспорта.

В качестве перспективного направления решения обозначенных проблемы предлагается внедрение квалиметрических и таксонометрических методов в систему комплексной оценки качества транспортных услуг на водном транспорте для расчета интегрального показателя качества

K_k . Выявлено, что таксонометрические методы оценки качества, являющиеся отдельным направлением в квалиметрии, недостаточно разработаны применительно к водному транспорту.



Рис. 2. Схема комплексной оценки качества транспортных услуг на водном транспорте

Центральным понятием квалиметрической таксономии выступают классы качества: во-первых, квалитаксон, представляющий собой совокупность качеств объектов и процессов, тождественных по определенным признакам, во-вторых, классифицирующая система, выполняющая два основных процесса: классифицирование качеств и собственное оценивание объекта к определенным классам качества [7]. Для расчета таксонометрических показателей «результат» — показатели «исходных значений» предлагается модель в нескольких вариантах: модель А включает стоимостные показатели, модель Б — натуральные (табл. 1). В основу предлагаемой модели положен математический аппарат обработки матрицы показателей качества, которые дифференцированы на показатели «результатов» и «исходных значений», на основе кластерного и корреляционно-регрессионного анализа [8]. Для построения интегрального показателя на основе таксонометрических расчетов применяются матрицы данных E («результатов») и N («исходных значений»).

Таблица 1

Модели для расчета таксонометрических показателей

| Показатель | Содержание |
|--|--|
| К факторам, характеризующим показатели «результат» отнесены: | |
| Модель А | Модель Б |
| X1 - отправление грузов, тыс. т.; | X1 - отправление грузов, тыс. т.; |
| X2 - приведенные тонно-километры; | X2 - приведенные тонно-километры; |
| X3 - доходы, тыс. руб.; | X3 - рентабельность основной деятельности, %; |
| X4 - балансовая прибыль, тыс. руб.; | X4 - производительность труда, млн. ткм/чел.; |
| X5 - суммы, выплаченные предприятием водного транспорта грузовладельцам из-за несвоевременности доставки, тыс. руб.; | X5 - количество претензий по несвоевременности доставки; |
| X6 - суммы, выплаченные грузовладельцам по несохранности грузов, тыс. руб. | X6 - количество претензий по несохранности грузов, тыс. руб.; |
| | X7 - выполнение графика движения грузовых судов по проследованию, %. |
| К факторам, характеризующим показатели «исходных значений» отнесены: | |
| Модель А | Модель Б |
| У1 - эксплуатационный контингент, чел.; | У1 - эксплуатационный контингент, чел.; |
| У2 - фонд заработной платы на эксплуатации, тыс. руб.; | У2 - фонд заработной платы на эксплуатации, тыс. руб.; |
| У3 - эксплуатационные расходы, тыс. руб.; | У3 - себестоимость, коп/1ткм.; |
| У4 - рабочий парк, суда; | У4 - динамическая нагрузка на грузное судно, т/судно.; |
| У5 - эксплуатируемый флот, суда; | У5 - вес грузового судна, тонн.; |
| У6 - стоимость производственных фондов, тыс. руб.; | У6 - среднесуточный пробег судна, км. |
| У7 - оборот судна, сут. | |

Матрицы E_{ij} и N_{ij} представлены следующими формулами:

$$E_{ij} = \begin{vmatrix} x_{11}x_{12}\dots x_{1m}x_{1n} \\ x_{21}x_{22}\dots x_{2m}x_{2n} \\ \dots\dots\dots \\ x_{i1}x_{i2}\dots x_{im}x_{in} \end{vmatrix}; \quad (1)$$

$$N_{ij} = \begin{vmatrix} y_{11}y_{12}\dots y_{1m}y_{1n} \\ y_{21}y_{22}\dots y_{2l}y_{2p} \\ \dots\dots\dots \\ y_{i1}y_{i2}\dots y_{il}x_{ip} \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где x_{im}, y_{il} — значение соответствующих признаков m и l по каждому сравниваемому периоду.

Показатели матрицы неоднородны, так как характеризуют деятельность предприятий водного транспорта в различных аспектах и единицах измерения. С целью их сопоставимости в результате предварительных преобразований, т. е. стандартизации признаков, абсолютные значения заменяются относительными, что позволяет привести показатели к единой шкале безразмерных оценок.

На основе метода расстояний по формуле евклидовой метрики и алгоритма сопоставления оценок E_{ij} и N_{ij} рассчитываются координаты d_r и d_s . Показатели «результатов» d_r и «исходных значений» d_s характеризуют средний уровень значений признаков исходной математической модели, принимая высокие (низкие) значения при больших (малых) значениях стимуляторов. Полученные значения трактуются следующим образом: меньшее отклонение показателей от принятого стандарта свидетельствует о более высоком уровне качества транспортных услуг на водном транспорте.

Определение значений результатов и затрат матрицы позволяет рассчитать интегральный показатель качества K_k как соотношение показателей «результатов» и «исходных значений» по следующей формуле:

$$K_k = d_r / d_s. \quad (3)$$

Предлагается следующая шкала оценок: $K_k \geq 1$ — высокий уровень качества (5 баллов); $0,75 \leq K_k < 1$ — хороший уровень качества (4 балла); $0,5 \leq K_k < 0,75$ — средний уровень качества (3 балла); $0,25 \leq K_k < 0,5$ — удовлетворительный уровень качества (2 балла); $K_k < 0,25$ — низкий (неудовлетворительный) уровень качества (1 балл).

Интегральный показатель качества транспортных услуг K_k , являющийся результатом эндогенной оценки качества транспортных услуг на водном транспорте, может быть использован при подведении итогов работы предприятий водного транспорта. Кроме того, базу данных о качестве транспортных услуг предприятий водного транспорта возможно увеличивать за счет расширения числа качественных объектов и диапазона показателей качества. На основе зафиксированных в базе данных исходных показателей по качеству может обеспечиваться проведение многовариантного диагностического анализа с выдачей иерархически структурированного множества обобщающих показателей.

Разработка методов оценки качества транспортных услуг предприятий водного транспорта на основе таксонометрических методов позволяет выполнять следующие процедуры:

- производить диагностику качества транспортных услуг для достижения необходимого уровня конкурентоспособности предприятий водного транспорта;
- преодолеть основные недостатки, связанные с трудностями оценки качества транспортных услуг предприятий водного транспорта, в частности при определении зависимости интегрального показателя качества транспортных услуг в одном комплексном;
- проводить сравнение разнородных показателей качества транспортных услуг предприятий водного транспорта;
- обеспечивать моделирование величин единичных показателей и их влияние на уровень качества транспортных услуг предприятий водного транспорта;
- анализировать тенденции улучшения единичных показателей качества транспортных услуг предприятий водного транспорта;
- проводить компьютерный анализ качества транспортных услуг предприятий внутреннего водного транспорта в условиях ограниченности информации.

Результаты расчета интегрального показателя качества транспортных услуг предприятий внутреннего водного транспорта (далее ПВТ) Архангельской области — ФБУ «Севводпуть» [9] и ООО «Полар Транс» [10] представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Расчетные значения показателей ПВТ Архангельской области

| Год | Показатели результатов | | Показатели исходных значений | |
|------|------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|
| | ФБУ «Севводпуть» | ООО «Полар Транс» | ФБУ «Севводпуть» | ООО «Полар Транс» |
| 2010 | 0,52 (2) | 0,63 (3) | 0,32 (1) | 0,42 (1) |
| 2011 | 0,31 (1) | 0,34 (1) | 0,47 (2) | 0,61 (3) |
| 2012 | 0,67 (3) | 0,53 (2) | 0,71 (3) | 0,47 (2) |

Таблица 3

Интегральный показатель качества транспортных услуг ПВТ Архангельской области

| Показатель | Год | Предприятия водного транспорта | |
|------------|------|--------------------------------|-------------------|
| | | ФБУ «Севводпуть» | ООО «Полар Транс» |
| K_k | 2010 | 1,63 | 1,5 |
| K_k | 2011 | 0,66 | 0,56 |
| K_k | 2012 | 0,94 | 1,13 |

Исходя из качества функционирования системы, ООО «Полар Транс» в 2012 г. имел лучшие показатели [10], что свидетельствует о достижении высокого качества при низких затратах. Несмотря на безразмерность полученных показателей, они имеют физический смысл, заключающийся в отражении степени приближения отдельного показателя к базовому (стандарту). Кроме того, расчетные значения можно ранжировать, в частности по уровню качества по предприятиям водного транспорта. Интегральный показатель качества транспортных услуг может быть использован при подведении итогов работы предприятий водного транспорта за год, работы структурных подразделений и судов. В этом случае подбираются соответствующие показатели, характеризующие качество продукции структурных подразделений и судов [11].

При исследовании факторного подхода к формированию системы оценочных показателей качества транспортных услуг на водном транспорте было предложено под *экзогенной оценкой* понимать степень влияния внутренних (Fin) и внешних (Fex) факторов на соответствующий оценочный показатель (I). Предложенная система оценочных показателей качества транспортных услуг и разработанная методика их оценки позволит экспертам более точно оценить влияние каждого внутреннего (Fin) и внешнего (Fex) фактора на оценочный показатель (I). Ранг (значимость) оценочного показателя определяется экспертами исходя из возможности его положительного влияния на качество транспортных услуг на водном транспорте. Данная оценка определяется экспертами и производится по пятибалльной шкале: 1 — фактор влияет очень сильно — 5 баллов; 2 — фактор влияет сильно — 4 балла; 3 — фактор влияет умеренно — 3 балла; 4 — фактор влияет слабо — 2 балла; 5 — фактор не влияет (или влияние ничтожно) — 1 балл.

Предложенная система оценочных показателей качества транспортных услуг и разработанная методика их оценки позволит методом экспертных оценок выявить влияние при определенных условиях внутренних (Fin) и внешних (Fex) факторов на основе построения аналитической таблицы и расчета рейтинга факторов на соответствующий оценочный показатель (I).

В табл. 4 и 5 приведен подобный расчет рейтинга внутренних (Fin) и внешних (Fex) факторов на соответствующий оценочный показатель (I) *методом экспертных оценок*.

Рейтинг внутренних (Fin) и внешних (Fex) факторов определяется по формуле

$$R_i = \sum \frac{F_{ij}}{p_j}, \quad (4)$$

где R_i — рейтинг i -го внутреннего (Fin) и внешнего (Fex) фактора;

F_{ij} — оценка степени влияния внутренних (Fin) и внешних (Fex) факторов на соответствующий оценочный показатель (I);

R_i — ранг значимости соответствующего внутреннего (Fin) и внешнего (Fex) фактора для оценочного показателя (I).

Принимая, что эндогенная оценка (присвоим удельный вес – 0,6), основанная на математическом аппарате, менее подвержена искажениям и её влияние на комплексную оценку качества транспортных услуг на водном транспорте является более существенной, чем экзогенная оценка (присвоим удельный вес – 0,4), что позволит рассчитать КПК транспортных услуг на водном транспорте.

$$КПК = 0,6K_k + 0,4 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (5)$$

Результаты расчета комплексного показателя качества транспортных услуг предприятий внутреннего водного транспорта Архангельской области приведены в табл. 6.

Таблица 6

Комплексный показатель качества транспортных услуг ПВТ Архангельской области

| Показатель | Год | Предприятия водного транспорта | |
|------------|------|--------------------------------|-------------------|
| | | ФБУ «Севводпуть» | ООО «Полар Транс» |
| КПК | 2012 | 4,68 | 5,46 |

Таким образом, можно сделать вывод, что ООО «Полар Транс» в 2012 г., с точки зрения комплексной оценки качества, имел лучший комплексный показатель качества транспортных услуг на внутреннем водном транспорте Архангельской области.

Список литературы

1. Ковалева Е. Н. Острота транспортных проблем в Архангельской области / Е.Н. Ковалева / Е. Н. Ковалева // Проблемы развития транспортной инфраструктуры Европейского Севера России. – Вып. 3: Материалы межрегиональной науч.-практ. конф. 29 – 30 марта 2008. – Котлас: ФГОУ ВПО «СПГУВК», 2008. – С. 160–167.
2. Ковалева Е. Н. Факторный подход к формированию системы оценочных показателей качества транспортных услуг на водном транспорте / Е. Н. Ковалева, А. А. Мажажихов, С. В. Митрофанов // Вестник СПбУ ГПС МЧС России. – 2014. – № 1. – С. 73–78.
3. Ковалева Е. Н. Концепция формирования и управления качеством транспортных услуг на водном транспорте / Е. Н. Ковалева // Материалы IV межвуз. науч.-практ. конф. аспирантов, студентов и курсантов «Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России», 15 – 16 мая 2013. – С. 514–520.
4. Ковалева Е. Н. Принципы построения системы управления качеством транспортных услуг / Е. Н. Ковалева // Журнал университета водных коммуникаций. – 2013. – № 2 (21). – С. 119–123.
5. Ковалева Е. Н. Необходимость и особенности повышения качества транспортных услуг / Е. Н. Ковалева // Материалы международной науч.-практ. конф. «Государственное управление и социально-культурная сфера в XXI веке: закономерности и особенности функционирования, традиции и инновации», 11 – 12 апреля 2013 / под ред. Л.И. Смирновой. – СПб.: ФГБОУ ВПО ГУМРФ, 2013. – С. 249–259.
6. Азгальдов Г. Г. Практическая квалиметрия в системе качества: ошибки и заблуждение / Г. Г. Азгальдов // Методы менеджмента качества. – 2001. – № 3. – С. 18–23.
7. Андрианов Ю. М. Квалиметрия в приборостроении и машиностроении / Ю. М. Андрианов, А. И. Сибетто. – Л.: Машиностроение, 1990. – 216 с.
8. Ковалева Е. Н. Теоретические основы и методика определения показателей качества транспортного обслуживания в регионе / Е. Н. Ковалева // Проблемы развития транспортной инфраструктуры Европейского Севера России. – Вып. 4: Материалы межрегиональной науч.-практ. конф. 26 – 27 марта 2010. – Котлас: ФГОУ ВПО «СПбГУВК», 2010. – С. 32–41.
9. Информация о деятельности ФБУ «Администрация «Севводпуть» [Электронный ресурс] // Официальный сайт ФБУ «Администрация «Севводпуть» – URL: <http://xn--blaagblchioi5g.xn--plai/index.php/activity-info> (дата обращения: 01.07.2014).

10. Информация группы компаний «Полар Транс» [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «Полар Транс» – <http://polartrans.ru/information/> (дата обращения: 01.07.2014).

11. Ковалева Е. Н. Анализ основных характеристик развития транспортной логистической инфраструктуры Архангельской области в 2007 – 2010 гг. / Е. Н. Ковалева // Проблемы развития транспортной инфраструктуры Европейского Севера России. – Вып. 5: Материалы межрегиональной науч.-практ. конф. 6 – 7 апреля 2012. – Котлас: ФГОУ ВПО «СПГУВК», 2012. – С. 49–52.

УДК 656.073:658.51

М. Б. Иванова,
канд. экон. наук, доц.

ЛОГИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ «ТРАНСПОРТНЫЙ ПРОЦЕСС»

LOGISTIC APPROACH TO ORGANISATION OF SYSTEM «TRANSPORT PROCESS»

В статье рассмотрен системно-логистический подход к организации транспортного процесса, проанализированы различные его модели, предложенные учеными-логистиками. Рассмотрены основные свойства транспортной системы и методы ее структуризации. Показано, что процесс транспортировки груза связан с большим количеством договорных взаимосвязей, отмечена роль экспедитора в разных транспортных системах. Предложено использование наглядных схем взаимоотношений участников перевозки для подбора комплекса логистических методов при оптимизации данного процесса, которые показывают степень влияния экспедитора на управление этим процессом. В первой схеме транспортно-экспедиторская компания выступает как «местный экспедитор» и ее влияние на транспортный процесс невелико. Во второй схеме экспедитор выступает в роли оператора перевозки и полностью управляет и контролирует транспортный процесс. В заключение рассмотрены методы логистики, которые может применять экспедитор в своей деятельности. При этом учитываются различные функциональные области логистики: распределительная логистика, логистика складирования и транспортная логистика.

In this article we have examined logistic approach to management of cargo transportation, have analysed different models of transport process which have offered by logistic scientist. We considered main characteristics of transport system and methods of structurization. We fixed that process of cargo transportation connects with large quantity of contract connections. Besides that, role of forwarder is different in various transport systems. We offered schemes of transport participants' connections which illustrated influence of forwarder to transport process. In the first scheme transport forwarder appears in the role of "forwarder of this place" and it has a little effect on transport process. In the second scheme forwarder appears in the role of operator of cargo transportation and effects on and controls transport process in large part. In conclusion we considered methods of logistics which transport forwarder can use in its activities. At the same we bear in mind different functional areas of logistics: distribution logistics, warehousing logistics and transport logistics.

Ключевые слова: транспортно-экспедиторские услуги, модель транспортного процесса, системно-логистический подход, логистические методы, мультимодальные перевозки.

Key words: forwarding services, model of transport process, logistic approach, multimodal transportation.

ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИТОРСКАЯ деятельность является неотъемлемым элементом системы движения грузов. Более 90 % времени движения продукции до конечного потребителя связано с прохождением ее по различным каналам материально-технического обслуживания, главным образом, с хранением и транспортировкой. В настоящее время наиболее значительными являются непроизводительные расходы и потери во всех отраслях экономики, в том числе на транспорте. Потери отдельных видов продукции в процессе ее заготовки, переработки, транспортировки и хранения достигают 40 %. Сократить их в значительной мере

возможно за счет создания системы транспортно-экспедиционного обслуживания и широкой сети транспортно-экспедиционных предприятий различных форм собственности.

Как показывает мировой опыт, важным элементом инфраструктуры транспорта является наличие широкой и развитой сети транспортно-экспедиционных предприятий. Перспектива образования в Европе единого рынка со свободным движением капитала, людских ресурсов, грузов и услуг требует совершенствования транспортной системы. Вложение капитала только в развитие технических средств транспортирования грузов уже не может удовлетворить все потребности клиентов транспорта. Эффективность работы транспорта может быть обеспечена только на основе его комплексного развития, в том числе за счет внедрения логистических технологий в транспортный процесс.

Для повышения согласованности работы различных видов транспорта, транспортно-экспедиторских предприятий и придания транспортной отрасли характера системности необходимо внедрение в практику их работы принципов логистики. Следует отметить, что отечественные и зарубежные экономисты предлагают большое количество трактовок понятия «логистика». Такая ситуация, на наш взгляд, объясняется новизной логистики как экономической науки, широкой областью ее применения, а также постепенным появлением её новых возможностей. В связи с этим далее рассмотрены и проанализированы некоторые определения этого понятия. Так, профессор Б. А. Аникин [1, с. 11] дает следующую трактовку: *«Логистика – это наука о планировании, организации, управлении, контроле и регулировании движения материальных и информационных потоков в пространстве и во времени от их первичного источника до конечного потребления»*. Это определение является достаточным, ясным и не допускает двойного толкования. Однако логистика в этом случае отнесена лишь к научной деятельности, что представляется не совсем точным.

Определение А. А. и Д. А. Чеботаевых [9, с. 15] учитывает научный характер дисциплины. Под логистикой в данном случае подразумевается *«... деятельность (с соответствующим научным сопровождением) по эффективному управлению, планированию и обеспечению материальных и соответствующих информационных потоков ...»*.

В трактовке Л. Б. Миротина и Ы.Э. Ташбаева [6, с. 19] подчеркивается применение в логистике теории компромиссов. Авторы определяют ее как *«... интегрированную совместную деятельность разных компаний по планированию, координации и управлению всеми функциями, процессами, операциями и процедурами, связанными с продвижением товаров от производителя к потребителю»*. Следует отметить, что акцент на том, что в процессе продвижения участвуют несколько компаний, особенно важен для рассматриваемых транспортно-экспедиторских компаний, которые в силу специфики своей деятельности должны поддерживать большое количество связей с элементами системы. Тем не менее, суть понятия при некоторых различиях трактовки не меняется и основным моментом её успеха является тот факт, что она заставляет иначе, чем прежде, рассматривать и оценивать экономические процессы. Логистический подход является, в первую очередь, системным.

Остановимся на различиях двух научных подходов: *традиционного* (используемого ранее) и *системного*, а также на преимуществах последнего. Оба подхода используют в научной работе методы анализа и синтеза. Различие между ними заключается в сочетании последовательности этих методов. Традиционный подход предполагает следующую последовательность этапов:

- анализ;
- объяснение поведения или свойств элементов, взятых по отдельности;
- синтез этих объяснений в объяснении целого.

В системном подходе также можно выделить три ступени. Во-первых, определение целого (системы), частью которого является интересующий нас объект, в данном случае транспортная логистическая система. Во-вторых, объяснение поведения или свойств транспортной системы в целом (свойствами её являются перемещение грузов от производителя к потребителю в минимальные сроки, с максимальной сохранностью и при низких издержках). В-третьих, объяснение поведения или свойств интересующего нас объекта с точки зрения его функций в целом, частью

которого он является (для элемента транспортной системы – транспортно-экспедиторской компании – основными функциями в системе служат организация транспортировки грузов и экспедиторское обслуживание в пунктах отправления, перевалки и назначения). Таким образом, традиционный подход к управлению исходит из предпосылки, что наилучшего функционирования система может достичь простым суммированием его частей в режимах наилучшей работы. В соответствии с принципом системности для сложных систем это условие не выполняется: целое не равно сумме его составляющих.

Применение системного подхода предполагает наличие у объекта исследования некоторых свойств. Во-первых, объект должен представлять собой целостную совокупность элементов, взаимодействующих друг с другом как по предписанию, так и на добровольной основе. В данном случае системный подход применяется к процессу транспортировки товаров. И действительно, транспортный процесс состоит из деятельности различных компаний, которые можно рассматривать как элементы системы, выполняющие те или иные функции и взаимосвязанные между собой как на коммерческой основе, так и в силу принудительного государственного вмешательства.

Во-вторых, между элементами системы должны быть существенные связи, которые определяют интегративные качества системы, т.е. ни один элемент не должен обладать свойствами системы, которые возникают в силу ее системной деятельности. Основным свойством транспортной системы является способность перемещать товар в пространстве в нужное место, причём ни один элемент этой системы не может выполнить этого самостоятельно. Так, перевозчик нуждается в деятельности перегрузочного комплекса, экспедитора, агента и других компаний, без которых транспортный процесс не может быть завершён.

В-третьих, система должна иметь определенную упорядоченную организацию. Предприятия транспорта не могли бы функционировать, если бы не подчинялись определенным правилам. Однако следует отметить, что в последнее время транспортная отрасль часто подвергается реорганизации, в силу чего строгий порядок в системе отсутствует и зачастую происходят сбои. В-четвертых, в рамках системы интересы различных участников должны быть сопряжены. Это находит отражение при заключении контрактов, в которых фиксируются взаимные ожидания и обязательства сторон.

Применение системного подхода к управлению процессом товародвижения предполагает решение некоторых проблем [8, с. 37]: «...определение границ логистической системы в целом и границ окружающей среды, установление целей системы, определение структуры системы и ее элементов, моделирование и описание логистической системы».

Приведенные положения представляют определенный интерес и могут быть использованы при построении логистической транспортной системы с различной ролью транспортно-экспедиторских компаний.

Основным правилом логистики для достижения конкурентных преимуществ является следующее: *нужный товар необходимого качества и в необходимом количестве должен быть доставлен в нужное место с минимальными затратами*. Применительно к транспортной отрасли это означает, что доверенный груз должен быть доставлен в оговоренный пункт назначения не позже определенного срока без каких-либо качественных и количественных потерь, причем транспортные расходы должны быть минимальны. Транспортно-экспедиторская компания, планирующая и организующая перевозку, непосредственно может использовать логистические принципы в своей деятельности для повышения конкурентоспособности на рынке.

Для России логистический подход на транспорте не является новым. В советский период получили развитие такие важные проблемы, как взаимодействие различных видов транспорта, рациональное распределение грузов по видам транспорта, рациональная организация перевозок и перевалок с минимальными издержками, а также теория единой транспортной системы. С 60-х гг. XX в. большое внимание стало уделяться вопросам транспортно-экспедиционного обслуживания грузов. Так, институтом комплексных транспортных проблем при Госплане СССР (ИКТП), а также другими научно-исследовательскими институтами проводились научные работы

по изучению экономической эффективности централизованного и децентрализованного вариантов транспортно-экспедиторского обслуживания. Было выявлено, что централизованный вариант является более экономичным.

В дальнейшем возникла проблема выбора наиболее эффективного вида транспорта для осуществления централизованного варианта. Сравнивались три варианта: автомобильный, автомобильно-железнодорожный и с участием ведомственных железнодорожных предприятий. Такой предварительный отбор был обусловлен тем, что с 1935 по 1955 гг. выполнение транспортно-экспедиторского обслуживания (ТЭО) было возложено на Министерство путей сообщения, а с 1955 г. передано автомобильному транспорту общего пользования. В связи с этим в последующие годы развивалось сразу несколько вариантов, что противоречило принципу централизации. Некоторые методики сравнения были предложены ИКТП, НИИ «Укрдортранс» и Ленинградским филиалом НИИ автомобильного транспорта (НИИ АТ). Однако проведенные на их основе исследования не показали однозначных результатов, так как в различных методиках предлагался какой-либо один критерий сравнения. В 1977 г. учеными В. И. Шишковым и С. У. Пиньковецким был предложен комплексный подход к сравнению вариантов, учитывающий как экономическую, так и технологическую эффективность. В результате было выявлено преимущество автомобильного варианта централизованного ТЭО по сравнению с железнодорожным и автомобильно-железнодорожным. Таким образом, предложенный комплексный подход представлял не что иное, как внедрение логистического подхода на транспорте, так как в нем рассматривались различные варианты с точки зрения минимизации затрат на доставку и оптимизации технологической схемы.

С переходом на рыночные отношения взаимодействие между транспортными предприятиями перешло на коммерческую основу, что значительно усложнило координацию транспортного процесса. К тому же в транспортно-экспедиторской деятельности на смену единого централизованного распределения перевозок пришла разрозненность и самостоятельность транспортных и экспедиторских компаний, что также сказалось на эффективности организации транспортировки грузов. Поэтому в настоящее время представляется необходимым разработку методик по внедрению логистических концепций в практику работы транспортных компаний.

Логистическую систему можно представить как совокупность логистических цепей. Под логистической цепью понимается последовательность взаимодействующих элементов системы, образующих единую технологию производства и обращения. Для повышения эффективности управления транспортным процессом необходима оптимизация соотношения отдельных звеньев транспортно-логистической цепи. Для решения этой задачи А. А. и Д. А. Чеботаевы [9] предложили рассматривать логистическую цепь ($L_{\text{ц}}$) на трех уровнях: на первом уровне логистическая цепь разбивается на три цепи меньшей сложности: снабжения и запасов (L_1), технологический процесс производителя (L_2), распределение и потребление (L_3). Математически это записывается в следующей форме: $L_{\text{ц}} = \{L_1, L_2, L_3\}$ $L_1 \in L_{\text{ц}}$, $L_2 \in L_{\text{ц}}$, $L_3 \in L_{\text{ц}}$.

При этом авторы предлагают использовать следующие критерии оценки логистической цепи всеми участниками товародвижения для определения единого интегрального эффекта: минимальное время доставки, максимальная прибыль, минимальные издержки и т.д., а для решения вопроса степени участия каждого субъекта отношений – долевые индексы, определяемые как отношение доли одного участника к интегральному показателю эффективности. Цепи первого уровня, в свою очередь, делятся на логистические цепи меньшей длины и меньшей сложности второго уровня, а именно, авторы предлагают разделить на транспортно-снабженческие, транспортно-складские, транспортно-терминальные и т.д. На третьем уровне логистическая цепь может быть представлена отдельными функциональными операциями.

По аналогии, А.А. и Д.А. Чеботаевы предложили иерархическую структуру логистической системы, включив в неё материальный, информационный и управленческий потоки. Тем самым, авторами был продемонстрирован свой подход к анализу логистической системы и приведены показатели, которые могут быть использованы для оценки её эффективности. Таким образом, поми-

мо указанных потоков в логистической системе большую роль играет финансовый поток, который непосредственно связан с материальным и не может быть проигнорирован.

Приведенный способ структурирования логистической системы является достаточно абстрактным и для его практического воплощения необходимо изучение конкретных взаимосвязей между элементами системы товародвижения от производителя к потребителю. К сожалению, в отечественной экономической литературе логистика присутствует пока только в форме концепции, поэтому модели реальных процессов исследованы недостаточно глубоко, особенно в области экспедирования.

Одна из моделей логистических систем с участием экспедитора предложена в работе [6]. Логистическая система представлена в виде модели системы доставки, целью создания которой является решение проблемы выбора оптимальной формы распределения товаров и их транспортно-экспедиционного обеспечения. В качестве элементов системы доставки выбраны следующие предприятия:

- торговая фирма – держатель контракта на поставку товаров;
- региональный дилер – юридическое лицо, заключившее с торговой фирмой контракт на поставку партии товаров;
- экспедитор – юридическое лицо, осуществляющее доставку партии товаров;
- перевозчик – юридическое лицо, осуществляющее перевозку партии товаров.

Данная модель рассмотрена авторами с точки зрения системотехники. В соответствии с этим у нее имеется вход и выход, которые описываются некоторыми параметрами. Выходные переменные являются функцией входных. Система является открытой. Окружающая среда системы есть множество элементов вне её: рынок, государство, финансовая среда, среда потребления и т.п. Рассматриваются входные и выходные данные каждой пары элементов системы доставки. Так, для пары элементов *экспедитор – перевозчик* входными являются переменные данные, описывающие потребность экспедитора в услуге по перевозке: требования к перевозке (вид, направление, тариф, сроки, надежность и т.д.), форма оплаты за перевозку, покупательная способность экспедитора, выходными – переменные, описывающие действия перевозчика для удовлетворения потребности экспедитора к перевозке.

Модель системы доставки представлена как $СД = \{ТФ, ЭКСП, П\}$, где $ТФ = \{x_1, x_2, x_3, \dots\}$ является функцией следующих параметров торговой фирмы: информация об отправителе, информация о единице товара, информация о грузовой единице, условия доставки, покупательная способность фирмы.

$ЭКСП = \{y_1, y_2, y_3, \dots\}$ – функция данных об экспедиторе, информация об условиях доставки.

$П = \{z_1, z_2, z_3, \dots\}$ зависит от параметров перевозчика, а именно от информации об условиях перевозки: тарифы, виды, направление, сроки, надежность и др.

Целью функционирования системы выступает максимальная эффективность доставки партии товара. В качестве критерия эффективности могут быть выбраны минимальные затраты, время обслуживания и т.д.

Представленная модель может быть полезна, так как в ней впервые рассматривается логистическая система с участием экспедитора, однако она описывает взаимоотношения элементов в процессе доставки, когда экспедитор организует весь комплекс услуг по транспортировке, выступая перед перевозчиком от своего имени. Это является одним из нескольких вариантов степени участия экспедитора. Роль и место транспортно-экспедиционного предприятия в транспортном процессе может быть различной. При другом варианте экспедитор может выполнять только местное экспедиционное обслуживание клиентов. Например, при экспорте грузов на основе базисных условий поставки ФОБ, экспедитору может быть поручена организация перевалки груза через порт с соответствующим документальным сопровождением.

Ещё один вариант степени участия заключается в том, что крупная экспедиционная фирма, которая постепенно из посредника превращается в принципала, берет на себя полную ответственность за транспортировку. В печати часто обсуждается вопрос о том, что такие компаниями

уже не являются экспедиторами, а представляют собой операторов перевозки, которых нельзя отождествлять с экспедиторами. Однако проведенное исследование показало, что в большинстве случаев операторами становятся именно экспедиторские компании и этот процесс можно назвать качественным скачком в обслуживании грузоотправителей и грузополучателей. В данной работе будем рассматривать операторов как перспективу для развития экспедиторского обслуживания, тем более что в России процесс создания системы экспедирования находится в стадии развития.

Исследование практики экспедирования показало, что компании-экспедиторы, не являющиеся принципалами, составляют существенную часть предприятий, занимающихся экспедированием (операторы составляют в настоящий момент около 100 компаний). Поэтому представляется целесообразным при формировании модели логистической системы подразделить транспортно-экспедиторские предприятия в зависимости от спектра оказываемых услуг на местных экспедиторов и экспедиторов-организаторов транспортировки или операторов мультимодальной перевозки.

Множество компаний и организаций, участвующих в перевозке грузов, обуславливают большое количество взаимоотношений и договорных связей между ними. При организации транспортировки грузов экспедитором этот вопрос становится тем более сложным, что количество и направленность связей зависят от базисных условий поставки, условий договоров перевозки и других факторов. Для простоты принятия решений, связанных с управлением перевозок любого груза, предлагается использовать наглядную схему договорных отношений между различными участниками транспортного процесса.

Любой объект можно представить в виде системы, если он обладает следующими свойствами:

- целостность и делимость: система состоит из элементов, выступающих как единое целое, но в то же время её можно разделить на подсистемы и отдельные элементы (в данном случае элементами системы являются предприятия и организации, принимающие участие в транспортировке грузов);
- связи между элементами должны быть сильнее, чем связи с внешней средой (различные транспортные компании связаны между собой двухсторонними договорными обязательствами);
- организованность: система должна быть определенным образом структурирована, что имеет место в системе «транспортный процесс»;
- интегративные качества: наличие у системы таких качеств, которые не свойственны ни одному из ее элементов (только при участии всех элементов возможно осуществление перевозки от грузоотправителя к получателю).

Представим транспортный процесс в виде системы, элементами которой будут являться участники транспортировки груза, объединенные упорядоченными договорными отношениями. Элементами системы будут являться следующие организации: продавец-грузоотправитель, покупатель-грузополучатель, морской перевозчик, наземный перевозчик, стивидорная компания, Администрация морского порта и Росморпорт в российских портах или портовые власти в иностранных портах, морской агент (представитель судовладельца перед таможенной, санитарными, пограничными органами надзора и другими учреждениями), экспедитор (представитель грузовладельца), таможня (оформление внешнеторговых грузов и судов, заходящих в порт), сертификационные органы (оформление ветеринарного, фитосанитарного, гигиенического и других сертификатов), сюрвейерская компания (инспектирование состояния груза и судна), буксирная компания, страховая компания (страхование грузов при перевозке на различных видах транспорта).

Рассмотрим договорные отношения (связи системы) между участниками транспортного процесса при импорте груза на условиях CIF Incoterms-2010, Российский порт погрузки: условие чартера по распределению расходов на погрузку / выгрузку груза – free in and out, т.е. основная перевозка и страхование оплачиваются продавцом, а стивидорные расходы оплачивает фрахтователь (рис. 1).

Продавец и покупатель заключают договор купли-продажи товара на условиях CIF, т.е. договор с морским перевозчиком и страховой компанией заключает отправитель. В порту погрузки грузоотправитель, а в порту выгрузки получатель заключают стивидорный контракт с организа-

цией, осуществляющей погрузку / выгрузку (стивидорная компания) или поручают это своему экспедитору. В стране отправления отправитель, а в стране назначения получатель или их экспедиторы заключают договоры на организацию и осуществление наземной перевозки автотранспортным предприятием или железной дорогой. Кроме того, для обслуживания груза в портах погрузки / выгрузки грузовладельцы заключают договор на экспедирование. В свою очередь, экспедитор для выполнения своих функций устанавливает договорные отношения с таможней, сюрвейерской и другими организациями, заключая договоры от своего имени или от имени грузовладельца.

Морской перевозчик для обслуживания судна в порту погрузки / выгрузки заключает агентское соглашение с морским агентом, который, в свою очередь, устанавливает взаимоотношения с портовыми властями, таможней, буксирной компанией и другими организациями. Помимо договорных отношений на основании данной схемы осуществляются платежи в системе «транспортный процесс», т.е. происходит движение финансового потока. Покупатель оплачивает продавцу цену товара. Фрахтователь (в данном случае грузоотправитель) оплачивает судовладельцу морской фрахт. Отправитель и получатель груза оплачивают стивидорной компании стоимость работ по погрузке / выгрузке.

Услуги агента оплачиваются судовладельцем за один судозаход. Морской администрации порта в российских портах и портовым властям в иностранных портах судовладелец платит портовые сборы. Через агента оплачиваются услуги всех фирм, фактически оказывающих услуги судну. Грузовладельцы оплачивают услуги экспедитору, который затем перечисляет их всем остальным организациям.

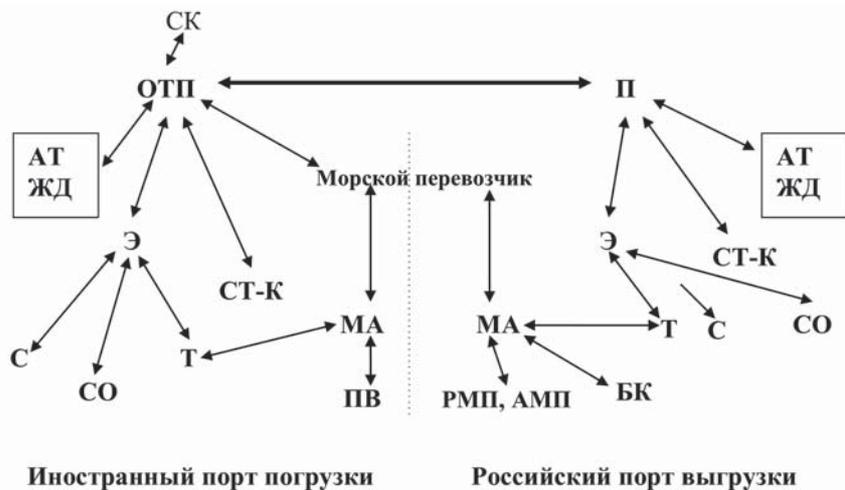


Рис. 1. Система договорных отношений при перевозке груза

Условные обозначения:

ОТП – продавец-грузоотправитель;

П – покупатель-грузополучатель;

АТ – автотранспортное предприятие АТ;

ЖД – железная дорога;

СТ-К – стивидорная компания осуществляет погрузку/выгрузку груза;

РМП, АМП – Росморпорт, Администрация морского порта в российских портах;

ПВ – портовые власти ПВ в иностранных портах;

МА – морской агент – представитель судовладельца перед таможней, санитарными, пограничными органами надзора и другими учреждениями;

Э – экспедитор – представитель грузовладельца;

Т – таможня – оформление внешнеторговых грузов и судов, заходящих в порт;

СО – сертификационные органы – оформление ветеринарного, фитосанитарного, гигиенического и других сертификатов;

С – сюрвейерская компания – инспектирование состояния груза и судна, в том числе и после аварии;

БК – буксирная компания;

СК – страховая компания – страхование грузов, транспортных средств, а также ответственности перевозчиков и экспедиторов.

В приведенной схеме влияние экспедитора на производственный процесс в морском транспортном узле, несмотря на то, что он оказывает только местное обслуживание, в целом достаточно велико. Это хорошо доказано в работе [2]. После проведения подробного исследования работы компаний, образующих транспортный узел, автор [2, с.106] утверждает, что «...значительное влияние на результативность производственного процесса МТУ в обслуживающей компоненте оказывает именно экспедиторско-агентский сектор. Остальные компании создают некоторый фон, формируя обслуживающий сектор».

Рассмотренная схема взаимоотношений меняется при внедрении логистических принципов в транспортный процесс. В данной системе экспедиторская компания уже выступает как организатор всей транспортировки груза – оператор мультимодальной перевозки. Наиболее полно преимущества таких перевозок реализуются при использовании в качестве базисных условий поставки условий группы E и D Incoterms 2010.

Схема взаимоотношений между участниками системы «Транспортный процесс» при появлении оператора мультимодальной перевозки (ОМП) приведена на рис. 2 (базисное условие поставки DDP Incoterms 2010).

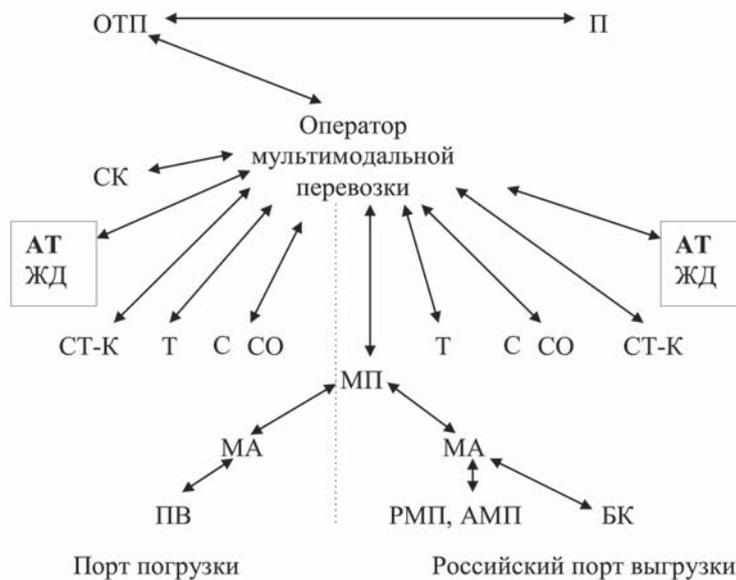


Рис. 2. Система договорных отношений «Транспортный процесс» при внедрении системно-логистического подхода

Отличие оператора мультимодальной перевозки от экспедитора состоит в том, что оператор с грузовладельцем заключает договор мультимодальной перевозки и становится ответственным перед грузовладельцем за сохранность груза в течение всей перевозки, даже если порча или утрата груза произошла по вине фактического перевозчика, а экспедитор несет ответственность только в том случае, если утрата груза произошла по его вине. Правовой основой взаимоотношений между грузовладельцем и оператором являются правовые нормы договора перевозки.

В качестве операторов мультимодальной перевозки могут выступать как крупные экспедиторские фирмы, так и транспортные компании. Но в отличие от судоходных компаний экспедиторы имеют ряд преимуществ в организации смешанных перевозок. Так, организация перевозок на различных направлениях и обслуживание неограниченного числа грузовладельцев позволяют экспедитору получать контрактные скидки с базисных тарифов. Эффективность перевозки для оператора в этом случае складывается из экспедиторской комиссии и контрактной скидки, которую он получает как крупный клиент-отправитель груза. Для привлечения грузовладельцев оператор половину разницы между базовой ставкой и той ставкой, которую он платит контрагентам, передает клиенту в виде снижения сквозной ставки провозной платы. Еще одним преимуществом

является способность экспедитора перераспределять груз между различными видами транспорта. Кроме того, выгодно использовать балластные направления, ликвидировать сезонные и циклические спады и подъемы спроса, скопления груза в портах и транспортных узлах.

Развитие интермодальных перевозок, в первую очередь, связано с контейнеризацией грузов. В ходе этого процесса на рынке транспортных услуг произошла серьезная перегруппировка сил и позиций его участников. Так, в США и Канаде в результате контейнеризации укрепили свои позиции судоходные и железнодорожные монополии с одновременным ростом агентского обслуживания за счет экспедиторского. В Японии судоходные контейнерные монополии удерживают позиции на главных международных транспортных коммуникациях, но их власть заканчивается на портовых терминалах. Во внутреннем сообщении все перевозки находятся под экспедиторским контролем. В Европе значительная роль в контейнерных перевозках принадлежит крупным экспедиторским фирмам. Свои отношения с судовладельческими и железнодорожными компаниями они строят на базе долгосрочных контрактов оператора перевозки груза. В России сегодня контейнерные перевозки находятся в стадии развития. Значительная часть контейнеропригодных грузов перевозится по традиционной технологии.

Увеличение спектра предлагаемых услуг путем развития собственного бизнеса или объединения транспортных компаний в холдинг благоприятным образом сказывается на повышении конкурентоспособности предприятий транспорта и улучшении их финансовых показателей.

Преимущества, которые получает грузовладелец, пользующийся услугами оператора смешанной перевозки, заключаются в следующем:

- оператор мультимодальной перевозки обычно получает скидки от фактических перевозчиков, стивидорных компаний и других субагентов как постоянный клиент. Как правило, он оставляет себе только часть разницы между базовой ставкой тарифа и ставкой со скидкой, остальную часть он передает грузоотправителю в виде снижения сквозной ставки провозной платы;

- грузоотправитель освобождается от необходимости заключения договора отдельно с каждым участником перевозки и оформления транспортных документов по каждому этапу такой перевозки;

- клиент-грузовладелец освобождается от необходимости иметь юридические отношения с большим числом участников перевозки, так как договоры со всеми субагентами оператор подписывает от своего имени. В случае утраты или нанесения ущерба грузу грузовладелец предъявляет иск только оператору мультимодальной перевозки;

- большинство банков мира принимают мультимодальный коносамент в качестве товарорапорядительного документа. Таким образом, продавец, отгрузив товар со своего склада на автотранспорт и железнодорожные вагоны, предоставленные оператором перевозки, получает от него мультимодальный коносамент и может, предъявив его банку, получить оплату товара. В свою очередь, покупатель, получив мультимодальный коносамент, имеет возможность распоряжаться товаром до его погрузки на судно.

Таким образом, благодаря наличию единого управляющего элемента – оператора мультимодальной перевозки – система «Транспортный процесс» становится более организованной, соответственно сокращаются непроизводительные простои груза и транспортных средств, а также расходы на перевозку снижаются за счет предоставления операторам от фактических исполнителей объемных скидок.

Анализируя ранее изложенное, можно сделать следующие выводы:

- роль транспортно-экспедиторских предприятий в управлении транспортным процессом может быть различна от простого исполнителя (оформление транспортных и таможенных документов) до организатора – архитектора перевозки;

- в последние годы роль экспедитора как организатора процесса перевозки существенно возросла;

- повышение роли экспедитора в управлении перевозками выгодно как самим экспедиторским компаниям (повышение прибыли, конкурентоспособности и т.д.), так и грузовладельцу

(ускорение доставки, повышение надежности транспортировки, снижение транспортных расходов);

– при увеличении комплекса услуг, предоставляемых экспедиторскими компаниями, вплоть до организации перевозок повышаются возможности экспедиторов-операторов по внедрению логистических принципов в процедуру управления транспортным процессом.

В таблице, составленной по материалам, используемым в работе [3], приведены логистические методы, которые может применять транспортно-экспедиторская компания, выступая как основной организатор транспортного процесса.

Методы логистики, применяемые в транспортно-экспедиторской деятельности

| Наименование области | Задачи | Модели, методы, алгоритмы |
|-----------------------------|---|---|
| Распределительная логистика | Организация доставки и контроль за транспортировкой, выбор схемы транспортировки, определение оптимального количества складов на обслуживаемой территории | Метод определения координат склада, выбор логистических посредников, модель решения задачи размещения складских центров |
| Логистика складирования | Подготовка товара к транспортировке, выбор системы грузопереработки на складе и технологического складского оборудования, оптимизация использования складских помещений | Метод Парето (размещение товаров на складе), методика принятия решения об аренде или строительстве склада |
| Транспортная логистика | Обеспечение технической и технологической сопряженности участников транспортного процесса, создание транспортных систем, выбор вида транспортного средства, определение рациональных маршрутов доставки, выбор фактических исполнителей | Модели выбора перевозчиков, маршрутизация перевозок, модели логистических центров |

Таким образом, если транспортно-экспедиторская компания выступает как организатор транспортного процесса (оператор мультимодальной перевозки), то ее руководство в своей деятельности может применять максимальный спектр логистических методов.

Список литературы

1. Аникин Б. А. Логистика. – 3-е изд., перераб. и доп. / Б. А. Аникин. – М.: Инфра – М, 2002. – 368 с.
2. Ботнарюк М. В. Формирование партнерских отношений компаний морского транспортного узла на основе маркетинга взаимодействий: проблемы и перспективы / М. В. Ботнарюк // Общество: политика, экономика, право. – 2012. – № 2. – С. 104–109.
3. Сергеев В. И. Корпоративная логистика в вопросах и ответах / В. И. Сергеев, Е. В. Бударина, С. В. Домнина. – М.: НИЦ ИНФРА, 2014. – 634 с.
4. Городецкий А. А. Координационная роль транспортно-экспедиторских организаций в цепях поставок / А. А. Городецкий // Российское предпринимательство. — 2007. – № 4. – С. 47–51.
5. Иванова М. Б. Логистика: учеб. пособие / М. Б. Иванова, М. Ю. Иванов. – М.: Изд-во ПРИОР, 2011. – 90 с.
6. Миротин Л. Б. Эффективная логистика / Л. Б. Миротин, Ы. Э. Ташбаев. – М.: Экзамен, 2003. – 160 с.
7. Неруш Ю. М. Логистика / Ю. М. Неруш. – М.: Изд-во «Проспект», 2006. – 520 с.
8. Стаханов Д. В. Таможенная логистика / Д. В. Стаханов, В. Н., Стаханов В.Н. – М.: ПРИОР, 2000. – 96 с.
9. Чеботаев А.А. Логистика и менеджмент товародвижения: учеб. пособие / А. А. Чеботаев, Д. А. Чеботаев. – М.: Экономика, 2012. – 400 с.
10. Чеботаев А.А. Логистика. Логистические технологии: учеб. пособие / А. А. Чеботаев. – М.: Дашков и К, 2002. – 172 с.

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

PROBLEMS OF ASSESSING THE DYNAMIC STATE OF THE TRANSPORT COMPLEX

В статье сгруппированы основные показатели деятельности транспорта России, отражены их изменения с течением времени, а также приведена характеристика результатов финансового состояния транспортной отрасли. При изучении финансово-экономического состояния транспорта была выявлена проблема высокой доли кризисных предприятий транспортной отрасли. При изучении данной проблемы было сконцентрировано внимание на реальном ущербе для государственной экономики при высокой доле кризисных предприятий на транспорте. Исходя из проведенного анализа сделаны выводы о состоянии транспортной системы за рассматриваемый период, о тенденциях деятельности транспортного комплекса, а также о необходимых мероприятиях для развития транспортной системы Российской Федерации.

Article grouped key performance indicators of Transport of Russia, reflected their change over time, as well as shows the characteristics of the financial results of the transport industry. In the study of the financial and economic condition of the problem is identified transport high proportion of the transport industry crisis. In the study of this problem has been to focus on the real damage to the national economy with a high proportion of enterprises in the transport crisis. Based on the analysis, conclusions about the state of the transport system for the period under review, on the trends of activity of the transport complex, as well as the necessary arrangements for the development of the transport system of the Russian Federation.

Ключевые слова: Кризис, транспорт, неплатежеспособность, банкротство, задолженность.
Key words: Crisis, transport, insolvency, bankruptcy, arrears.

В ЦЕЛЯХ выявления признаков кризисного состояния на предприятиях применяется расчет специально подобранных финансово-экономических коэффициентов. Многие из этих коэффициентов способны дать оценку деятельности предприятия любой отрасли, но также существуют специально сгруппированные коэффициенты, способные дать более точную оценку финансового состояния организации определенной отраслевой принадлежности.

Финансово-экономическое положение транспортного комплекса отражают показатели платежеспособности предприятий отрасли, сгруппированные в табл. 1 [1] – [4]. Необходимость использования этих показателей утверждена нормативными и законодательными актами в делах о несостоятельности (банкротстве), при выявлении возможности (невозможности) должника погасить обязательства, закрепленные в федеральных стандартах деятельности арбитражных управляющих, утвержденными Постановлением правительства Российской Федерации от 25 июня 2003 г. № 367 (Правила проведения арбитражным управляющим финансового анализа) и Постановлением правительства Российской Федерации от 27 декабря 2004 г. № 855 (Об утверждении временных правил проверки арбитражным управляющим признаков фиктивного и преднамеренного банкротства).

Таблица 1

**Показатели платежеспособности и финансовой устойчивости
 организаций транспорта и связи**

| Год | Транспорт и связь | | | Из них связь | | | Транспорт | | |
|------|----------------------|-----------|-------|----------------------|-----------|-------|----------------------|-----------|-------|
| | $K_{ТЛ}$ | $K_{ОСС}$ | K_a | $K_{ТЛ}$ | $K_{ОСС}$ | K_a | $K_{ТЛ}$ | $K_{ОСС}$ | K_a |
| | Нормативные значения | | | Нормативные значения | | | Нормативные значения | | |
| | >200 | >10 | >100 | >200 | >10 | >100 | >200 | >10 | >100 |
| 2000 | | | | 110,8 | -40 | 57,9 | 96 | -15,2 | 67,9 |
| 2001 | | | | 109,5 | -26 | 51,3 | 111,1 | -18 | 74,2 |
| 2002 | | | | 94,1 | -43 | 49,4 | 112,2 | -18 | 73,7 |
| 2003 | 169,1 | 11,1 | 66,1 | 104,3 | -54 | 48,6 | 194,5 | 30,1 | 71,8 |
| 2004 | 107,4 | -34,7 | 69,5 | 96,6 | -74 | 49,4 | 113,4 | -16,5 | 77 |
| 2005 | 108,7 | -39,1 | 70,7 | 106,3 | -81 | 45 | 109,7 | -21 | 78,2 |
| 2006 | 103,3 | -48,3 | 70,6 | 109,5 | -83 | 49,7 | 100,8 | -32,8 | 77,2 |
| 2007 | 102,3 | -48,1 | 68,3 | 106,3 | -88,1 | 48,1 | 101 | -51,1 | 70,3 |
| 2008 | 110,5 | -51,4 | 64,4 | 129,9 | -53 | 45,2 | 101 | -51,1 | 70,3 |
| 2009 | 120,8 | -80 | 61,7 | 122,1 | -68 | 47,6 | | | |
| 2010 | 133,1 | -57,8 | 63,6 | 116,5 | -74 | 44,7 | | | |
| 2011 | 125 | -77,5 | 60,7 | 106,4 | -118 | 41,7 | | | |

Примечание. $K_{ТЛ}$ — коэффициент текущей ликвидности; $K_{ОСС}$ — коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами; K_a — коэффициент автономии

Следует учесть, что, начиная с 2003 г., Росстат публикует данные о деятельности транспорта, объединяя их с показателями связи.

Оценка показателей платежеспособности транспорта выявила, что в период с 2000 по 2008 гг., за исключением 2003 г., наблюдается тенденция ухудшения финансового состояния предприятий транспорта:

– анализ коэффициента текущей ликвидности ($K_{ТЛ}$) показал, что способность транспорта покрывать краткосрочные обязательства за счет активов является недостаточной, а также происходит нарастание кризисных явлений, о чем свидетельствует снижение этого коэффициента на протяжении рассматриваемого периода;

– коэффициент обеспеченности собственными средствами ($K_{ОСС}$) за этот период уменьшается более стремительными темпами, отражая неудовлетворительное обеспечение собственными средствами, что согласно нормативным значениям этого показателя отражает высокую долю предприятий отрасли, находящихся на грани банкротства;

– коэффициент автономии (K_a) показывает зависимость предприятий от кредиторов. Значение коэффициента стабильно держится примерно на одном уровне, но ниже нормативного значения. Он характеризует повышенную зависимость от внешних финансовых источников и соответственно постоянное нестабильное финансовое положение этих предприятий [5], [6].

Как было отмечено, с 2009 по 2011 гг. показатели финансового состояния транспорта анализировались совместно с показателями связи. Анализ показал, что значения коэффициентов по отрасли «Связь» больше объединённых показателей «Транспорта и Связи». Это свидетельствует о том, что повышение показателей в этот период вызвано в основном их ростом по отрасли «Связь». После кризиса 2008 г., судя по росту $K_{ТЛ}$, в транспорте начали увеличиваться текущие активы и

уменьшаться коэффициент обеспеченности собственными средствами — $K_{\text{осс}}$. С одной стороны, увеличение коэффициента $K_{\text{тл}}$ отражает улучшение финансового состояния, но, с другой стороны, уменьшение $K_{\text{осс}}$ отражает недостаточность собственных средств транспортной отрасли, т.е. судя по $K_{\text{тл}}$, происходит накапливание оборотных активов на транспортных предприятиях, уменьшается оборачиваемость, увеличивается дебиторская задолженность и, соответственно, снижается реализация услуг транспортного комплекса.

Отражением неудовлетворительной платежеспособности и финансовой устойчивости предприятий транспорта является неэффективное развитие транспорта, связанное с накоплением кредитных обязательств и недостаточным использованием современных технологий. С нашей точки зрения, транспортная система России находится в глубоком кризисном состоянии, что подтверждается значениями показателей платежеспособности и финансовой устойчивости организаций транспорта и высокой долей неплатежеспособных предприятий транспорта, находящихся в предбанкротном состоянии. Предотвратить банкротство большинства убыточных транспортных предприятий возможно только при реализации обоснованных мер, связанных с долгосрочным планированием, финансовой поддержкой предприятий транспорта, ужесточением контроля за их платежеспособностью.

Рост кредитных обязательств ухудшает платежеспособность предприятий, снижает вероятность получения прибыли от реализации транспортных услуг. Накопление просроченной дебиторской задолженности также препятствует погашению кредиторских обязательств, развитию основной деятельности предприятия, ухудшает их финансовое состояние, приближая к несостоятельности (банкротству).

В табл. 2 представлено количество предприятий транспорта, имеющих различные виды задолженности, и их доля в отрасли [1] – [4], [7] – [10].

Таблица 2

Количество и удельный вес организаций транспорта, имеющих просроченную задолженность, по видам задолженности

| Год | Кредиторская задолженность | | Задолженность поставщикам | | Задолженность в бюджет | | По полученным кредитам и займам | | Дебиторская задолженность | | Задолженность покупателей | |
|------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | всего | в % от кол-ва организаций | всего | в % от кол-ва организаций | всего | в % от кол-ва организаций | всего | в % от кол-ва организаций | всего | в % от кол-ва организаций | всего | в % от кол-ва организаций |
| 2004 | 2752 | 46,24 | 2335 | 39,1 | 1775 | 27,5 | 189 | 3,54 | 2944 | 52,6 | 2811 | 49,8 |
| 2005 | 2312 | 40,03 | 1971 | 34,3 | 1370 | 21,6 | 177 | 3,21 | 2524 | 47,6 | 2430 | 45,8 |
| 2006 | 1929 | 34,48 | 1651 | 29,6 | 1053 | 17,4 | 144 | 2,83 | 2200 | 42,2 | 2106 | 40,7 |
| 2007 | 1647 | 30,52 | 1417 | 26,2 | 792 | 13,3 | 119 | 2,33 | 1939 | 39 | 1855 | 37,3 |
| 2008 | 1400 | 28,19 | 1203 | 24,0 | 617 | 11,2 | 99 | 1,93 | 1660 | 36,4 | 1589 | 34,9 |
| 2009 | 1282 | 26,68 | 1107 | 22,8 | 569 | 10,6 | 90 | 1,76 | 1566 | 35,8 | 1503 | 34,2 |
| 2010 | 1127 | 24,22 | 968 | 20,5 | 492 | 9,49 | 73 | 1,50 | 1389 | 32,9 | 1342 | 32,0 |
| 2011 | 1043 | 24,82 | 877 | 21,0 | 455 | 9,13 | 64 | 1,34 | 1303 | 34,4 | 1241 | 33,2 |

По динамике изменений (табл. 2) количество организаций, имеющих просроченные кредиторские и дебиторские задолженности, имеет тенденцию уменьшения, хотя доля этих предприятий еще высока (~30%). Требуется постоянный мониторинг и реализация мероприятий погашения обязательств предприятий и контрагентов для уменьшения вероятности несостоятельности и банкротства транспортных предприятий (табл. 3) [1] – [4].

Просроченные кредиторские и дебиторские задолженности предприятий транспорта, млн руб.

| Год | Просроченная задолженность по обязательствам | | | | | Просроченная дебиторская задолженность | |
|------|--|--|--------------|-------------|--------------------------------------|--|-------------|
| | всего | в том числе | | | | всего | в том числе |
| | | задолженность по кредитам банков и полученным займам | кредиторская | в том числе | | | |
| | | | | в бюджет | в государственные внебюджетные фонды | | |
| 2004 | 88654 | 2033 | 86621 | 12690 | 12176 | 65259 | 48010 |
| 2005 | 65966 | 1508 | 64458 | 7883 | 8908 | 71679 | 47164 |
| 2006 | 50566 | 1242 | 49324 | 7799 | 6016 | 53468 | 38759 |
| 2007 | 49149 | 5185 | 43964 | 7146 | 3777 | 52217 | 38518 |
| 2008 | 47756 | 5991 | 41765 | 6440 | 2663 | 54138 | 41973 |
| 2009 | 54506 | 7191 | 47315 | 6791 | 2883 | 48074 | 34860 |
| 2010 | 62299 | 13602 | 48697 | 6530 | 2339 | 51010 | 40456 |
| 2011 | 58906 | 12613 | 46293 | 5053 | 2817 | 86740 | 75580 |

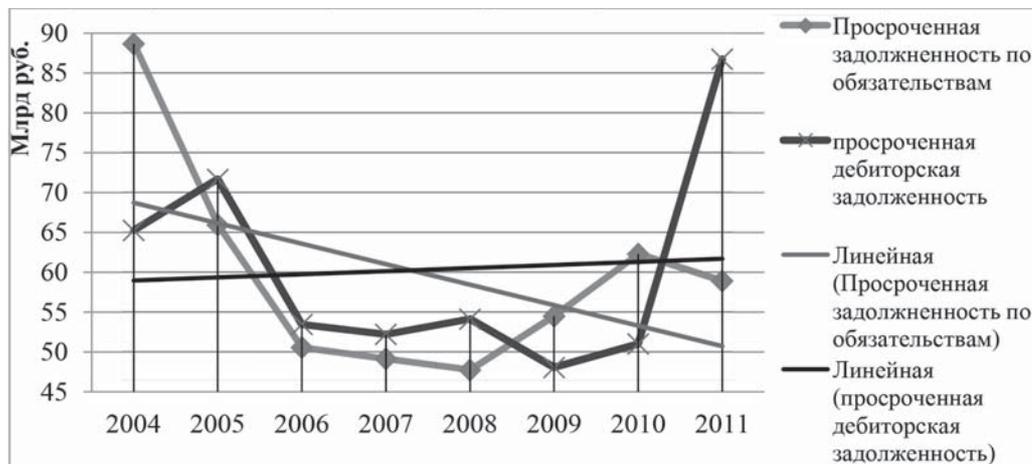


Рис. 1. Изменения просроченной задолженности по обязательствам и просроченной дебиторской задолженности

Сокращение доли и количества предприятий, имеющих просроченные задолженности по обязательствам (табл. 2), связано с уменьшением суммы задолженностей (табл. 3), представленных на рис. 1. При этом суммы просроченных задолженностей достаточно высоки на одно предприятие (в среднем в 2011 г. приходилось более 55 млн руб.), что влечет за собой цепную реакцию по невыполнению обязательств контрагентов.

Несмотря на постепенное снижение количества и доли предприятий, имеющих просроченную дебиторскую задолженность, совокупное количество дебиторской задолженности, не погашенной в срок, судя по трендовому графику (рис. 1), увеличивается. Средняя сумма, приходящаяся на одно предприятие в 2011 г., составила более 66 млн руб.

Такие большие суммы невыплаченных в срок обязательств, как и в случае с просроченной кредиторской задолженностью, не только угрожают финансовому благополучию организаций партнеров, но и мешают своевременному поступлению обязательных платежей.

Количество просроченных платежей в государственный бюджет и государственные внебюджетные фонды приведены в табл. 3. Количество предприятий, имеющих просроченные задолженности в госбюджет и государственные внебюджетные фонды, уменьшилось, но суммы просроченных задолженностей в расчете на предприятие увеличиваются. Группировка данных об организациях, имеющих просроченную задолженность в бюджет, и суммы их просроченной задолженности, приведены в табл. 4 [1] – [4], [7] – [12].

В 2004 г. сумма просроченных, не выплаченных в срок налоговых обязательств в государственный бюджет составляла в среднем 7,15 млн руб. на одно предприятие. В 2011 г. сумма просроченных платежей в госбюджет составляла более 11,1 млн руб. на одно предприятие (рис. 2).

Таблица 4

Количество организаций транспорта, имеющих просроченную задолженность в бюджет, и сумма их просроченной задолженности

| Год | Количество организаций, имевших задолженность в бюджет | Сумма задолженности в бюджет, млн руб. | Сумма задолженности в расчете на одно предприятие, млн руб. |
|------|--|--|---|
| 2004 | 1775 | 12690 | 7,15 |
| 2005 | 1370 | 7883 | 5,75 |
| 2006 | 1053 | 7799 | 7,41 |
| 2007 | 792 | 7146 | 9,02 |
| 2008 | 617 | 6440 | 10,44 |
| 2009 | 569 | 6791 | 11,93 |
| 2010 | 492 | 6530 | 13,27 |
| 2011 | 455 | 5053 | 11,11 |

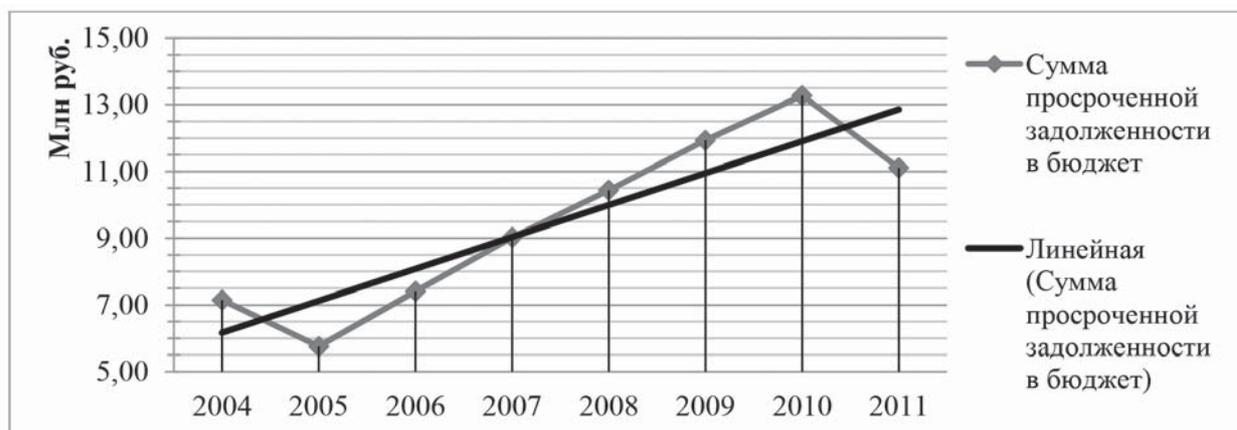


Рис. 2. Количество просроченной задолженности в бюджет, в расчете на одно предприятие транспорта, имеющее такую задолженность

На рис. 2 приведена динамика увеличения количества просроченных обязательств в госбюджет, приходящихся в среднем на одно предприятие, имеющее такую задолженность. Рост суммы данной задолженности препятствует формированию финансовых средств на государственные нужды и выполнению социальных программ, что вызывает дефицит госбюджета.

В период с 2000 по 2011 гг. количество и доля убыточных предприятий транспортного комплекса существенно сократилось (табл. 5, рис. 3) [1] – [4].

Таблица 5

Количество убыточных предприятий транспорта и сумма убытка, на конец года, млн руб.

| Год | Количество убыточных предприятий | В % от общего числа предприятий | Сумма убытка |
|------|----------------------------------|---------------------------------|--------------|
| 2000 | 3164 | 44,1 | 13787 |
| 2003 | 3106 | 48,00 | 27846 |
| 2005 | 2357 | 41,40 | 31122 |
| 2008 | 1704 | 34,53 | 78423 |
| 2009 | 1836 | 38,76 | 82950 |
| 2010 | 1664 | 38,20 | 52755 |
| 2011 | 1715 | 39,10 | 76512 |

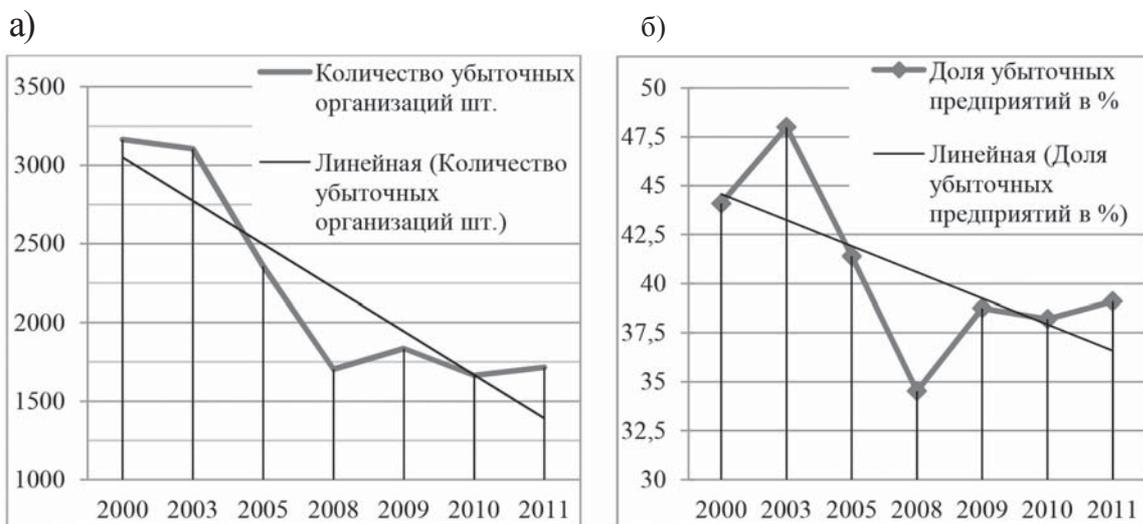


Рис. 3. Количество и доля убыточных организаций транспорта:
а — Количество убыточных предприятий транспорта;
б — Доля убыточных предприятий транспорта

При сокращении количества убыточных предприятий почти вдвое доля убыточных предприятий остается очень высокой. В течение рассматриваемого периода (с 2000 г.) среднее значение этого показателя — более 40%, т. е. практически половина предприятий отрасли является неплатежеспособной, имеет высокую вероятность банкротства.

Уменьшение количества убыточных предприятий не ведет к сокращению суммы кредиторских обязательств, перешедших в убытки. Сумма убытков в рассматриваемом периоде (с 2000 по 2011 гг.) выросла в шесть раз (с 13,79 млрд руб. до 76,51 млрд руб.) и имеет тенденцию к росту (табл. 10, рис. 4) [1] – [4]. Сумма убытка, приходящаяся на одно убыточное предприятие транспорта, в 2000 г. составляла 4,36 млн руб., а в 2011 г. — 44,6 млн руб., т. е. увеличились более чем в 10 раз.

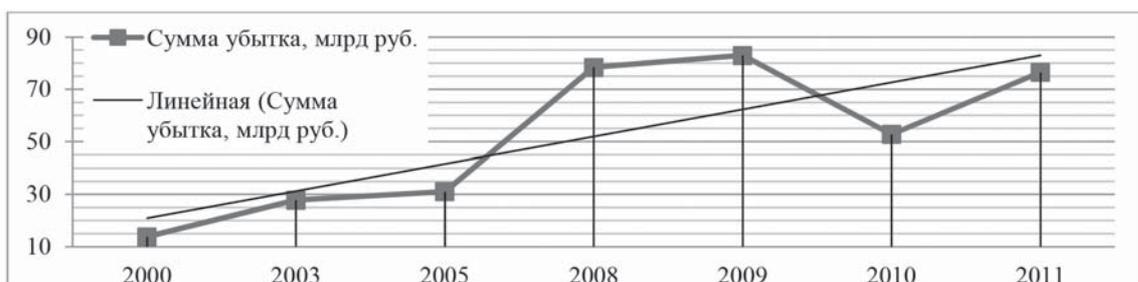


Рис. 4. Сумма убытков от убыточных предприятий транспорта

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

- на транспортных предприятиях работает недостаточно эффективный менеджмент, влекущий негативную тенденцию развития транспортного комплекса;
- сохраняется тенденция углубления кризиса морского и речного флота России;
- доля убыточных предприятий транспорта, подверженных риску банкротства, составляет около 40 %;
- показатели платежеспособности и финансовой устойчивости предприятий транспорта и всей отрасли в целом имеют тенденцию к снижению и находятся в зоне вероятного углубления кризиса и риска банкротства;
- растут суммы просроченных кредиторских и дебиторских обязательств, что ухудшает финансовое состояние и создает глубокие кризисные ситуации для должников и контрагентов;
- растут недоимки и потери выплат в госбюджет и государственные внебюджетные фонды.

Одной из основных причин нахождения значительной части предприятий транспорта России в кризисном состоянии является отсутствие методов и инструментов по выявлению нарушений функционирования транспортных предприятий, влекущих ухудшение финансового состояния, скрытые, фиктивные или преднамеренные банкротства, для предотвращения потенциально экономической угрозы предприятию, его партнерам и государству.

С нашей точки зрения, главной причиной утраты платежеспособности предприятий транспорта является слабый контроль со стороны государства над деятельностью предприятий отрасли, недостаточная ответственность лиц, от участия которых в реализации государственных проектов зависит эффективность работы транспорта, а также отсутствие научно-обоснованных методик выявления и предупреждения кризисных явлений.

Решение изложенных проблем во многом зависит от наличия научно обоснованных методов и методик выявления кризисного состояния предприятия на любой стадии жизненного цикла транспортного предприятия, способных выявить первые признаки кризиса и предложить варианты по предотвращению их наступления.

В транспортной отрасли практически отсутствует система антикризисного управления, которая должна охватывать все уровни (федеральный, отраслевой, предприятия) и включать все необходимые инструменты для эффективного управления транспортным комплексом.

Список литературы

1. Финансы России. 2012: стат.сб. / Росстат. — М., 2012. — 462 с. — URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b12_51/IssWWW.exe/Stg/03-19.htm (дата обращения: 07.11.2014).
2. Финансы России. 2008: стат.сб. / Росстат. — М., 2008. — 453 с. — URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b12_51/IssWWW.exe/Stg/03-19.htm (дата обращения: 07.11.2014).
3. Финансы России. 2006: стат.сб. / Росстат. — М., 2006. — 262 с. — URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b08_51/IssWWW.exe/Stg/03-19.htm (дата обращения: 07.11.2014).
4. Финансы России. 2004: стат.сб. / Росстат. — М., 2004. — 332 с. — URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b04_51/IssWWW.exe/Stg/d010/i010670r.htm (дата обращения: 07.11.2014);
5. Курошева Г. М. Проблемы методического и организационного обеспечения антикризисного управления экономикой страны / Г. М. Курошева, А. А. Бырбыткин. // Материалы второй Всероссийской науч.-прак. конф. (13 мая 2014 г. Воронеж). — Воронеж: Издат.-полигр. центр «Научная книга», 2014. — С. 106 – 109.
6. Бырбыткин А. А. Проблемы преодоления кризисных признаков в экономике транспортного комплекса / А. А. Бырбыткин. // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — №. 1 (23). — 141 – 146 с.
7. Транспорт в России, 2009: стат.сб. / Росстат. — Т.65. — М., 2009. — С. 52.
8. Транспорт в России, 2007: стат.сб. / Росстат. — Т.65. — М., 2007. — С. 23.

9. Транспорт в России, 2005: стат.сб. / Росстат. — Т. 65. — М., 2005. — С. 29. — URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b05_55/IssWWW.exe/Stg/1-35.htm (дата обращения: 07.11.2014).
10. Транспорт в России: стат.сб./ Госкомстат России. — Т. 65. — М., 2003 — 182 с. — URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/B03_55/IssWWW.exe/Stg/d010/i010340r.htm (дата обращения: 07.11.2014).
11. Российский статистический ежегодник, 2012: стат.сб./Росстат. — Р. 76. — М., 2012. — С. 481.
12. Российский статистический ежегодник, 2012: стат.сб./Росстат. — Р. 76. — М., 2012. — С. 483.

УДК 338.47:656.6

Ю.А. Лепехина,
канд. экон. наук, доц.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ, СПОСОБСТВУЮЩИХ ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОАО «НСПЗ»

DEVELOPMENT OF COMPLEX ACTIVITIES THAT CONTRIBUTE TO IMPROVING EFFECTIVENESS OF NOVOROSIYSK SHIPYARD JOINT-STOCK COMPANY

В статье рассмотрена динамика и структура грузооборота перегрузочного комплекса за 2010 – 2012 гг. Выполнен анализ натуральных и стоимостных показателей деятельности перегрузочного и судоремонтного производств. Дана оценка производственно-экономических результатов хозяйственной деятельности структурного подразделения ОАО «НСПЗ» по производству электрической и тепловой энергии. В работе представлена динамика показателей рентабельности, проанализированы производственные ресурсы предприятия. Дана интегральная оценка финансовой устойчивости компании на основе использования скорингового анализа, а также оценка финансового риска ОАО «НСПЗ». Выявлены причины негативного изменения рассматриваемых показателей. Предложены мероприятия, способствующие повышению эффективности деятельности ОАО «НСПЗ».

This article is about dynamics and organization of cargo turnover transshipment system of the Novorossiysk shipyard joint-stock company during 2010 – 2012. Analysis of natural and cost performance handling and ship-repair industries carried out. Production and economic results of economic activity for structural division of Novorossiysk shipyard joint-stock company for the production of electric and thermal energy evaluated. In this work the dynamics of profitability indicators presented and production enterprise resources analyzed. Given the integral assessment of the financial sustainability of the company on the basis of a scoring analysis and financial risk assessment of Novorossiysk shipyard joint-stock company. Causes of negative changes for above mentioned characteristics revealed. Proposed activities that contribute to improving the effectiveness of Novorossiysk shipyard joint-stock company.

Ключевые слова: грузооборот, перегрузочный комплекс, анализ экономических показателей, эффективность деятельности предприятия, финансовая устойчивость.

Key words: freight turnover, transshipment system, financial characteristics analysis, efficiency of Company activities, the financial sustainability.

П РЕДПРИЯТИЯ осуществляют свою деятельность на рынке в условиях жесткой конкуренции. Те из них, которые проигрывают в этой борьбе, становятся банкротами. Для того чтобы не обанкротиться, хозяйствующие субъекты должны постоянно отслеживать изменения рыночной среды, нарабатывать методы противодействия негативным моментам для сохранения своей конкурентоспособности.

Одним из инструментов исследования рынка и сохранения конкурентоспособности является всесторонний анализ его производственных и экономических показателей, который

позволяет составить общую финансовую картину организации — самой важной характеристики деятельности предприятия, что является весьма актуальным в настоящее время.

Методологию анализа рассматривали ряд авторов [1] – [3], которые справедливо считают, что его системность проявляется в определенной, логически обоснованной последовательности рассмотрения показателей хозяйственной деятельности предприятия.

Анализ, по мнению авторов, должен включать:

- анализ натуральных и стоимостных показателей деятельности основных структурных подразделений предприятия — перегрузочного производства, судоремонтного производства и энергетического хозяйства;

- оценку обеспеченности производственными ресурсами;

- анализ качественных показателей использования ресурсов предприятия.

Однако практика показывает, что в настоящее время в дополнении к перечисленным направлениям целесообразно оценивать степень финансового риска предприятия, что позволит более точно определить ресурсную базу и направления развития компании, а это, следовательно, потребует дальнейшего развития методологии анализа.

С целью определения перспектив развития ОАО «НСПЗ», как одной из стивидорных компаний Новороссийска, проведем комплексный экономический анализ его деятельности.

Приоритетным направлением деятельности ОАО «НСПЗ» является выполнение погрузочно-разгрузочных работ. В качестве анализируемого показателя выступает суммарный грузооборот предприятия (табл. 1) [4], [5].

Таблица 1

Динамика и структура грузооборота ПК ОАО «НСПЗ» за 2010–2012 гг.

| Вид груза | 2010 г. | | 2011 г. | | Темп роста, % | Изменение структуры, % | 2012 г. | | Темп роста, % | Изменение структуры, % |
|----------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|------------------------|---------------|--------------|---------------|------------------------|
| | объем, тыс. т | структура, % | объем, тыс. т | структура, % | | | объем, тыс. т | структура, % | | |
| Экспорт, в том числе | 2578,9 | 94,24 | 1736 | 80,97 | 67,3 | -13,27 | 2054,3 | 81,09 | 118,3 | 0,11 |
| металлы черные | 2495,3 | 91,19 | 1655,6 | 77,22 | 66,3 | -13,97 | 2016,9 | 79,61 | 121,8 | 2,39 |
| прочие грузы | 83,6 | 3,06 | 80,4 | 3,75 | 96,2 | 0,70 | 37,4 | 1,48 | 46,5 | -2,27 |
| Импорт, в том числе | 157,5 | 5,76 | 407,9 | 19,03 | 259,0 | 13,27 | 479,2 | 18,91 | 117,5 | -1,11 |
| рулоны г/о стали | - | - | 121,7 | 5,68 | - | 5,68 | 143,4 | 5,66 | 117,8 | -0,02 |
| цемент | - | - | 121,6 | 5,67 | - | 5,67 | 222,6 | 8,79 | 183,1 | 3,11 |
| продуктовые грузы | - | - | 142,4 | 6,64 | - | 6,64 | 105,2 | 4,15 | 73,9 | -2,49 |
| прочие грузы | 157,5 | 5,76 | 22,2 | 1,04 | 14,1 | -4,72 | 8 | 0,32 | 36,0 | -0,72 |
| Всего | 2736,4 | 100,00 | 2143,9 | 100,00 | 78,3 | 0,00 | 2533,5 | 100,00 | 118,2 | 0,00 |

Анализ данных табл. 1 показывает, что достигнутый в 2010 – 2012 гг. уровень грузооборота относит перегрузочный комплекс (ПК) ОАО «НСПЗ» в разряд портов средней величины (грузоперевалка 2 – 3 млн т в год). В течение 2011 г. перегрузочным комплексом ОАО «НСПЗ» перевалено около 2144 тыс. т грузов, что на 21,7 % меньше, чем в 2010 г., когда отмечался наибольший объем перевалки — 2736,4 тыс. т (рис. 1).

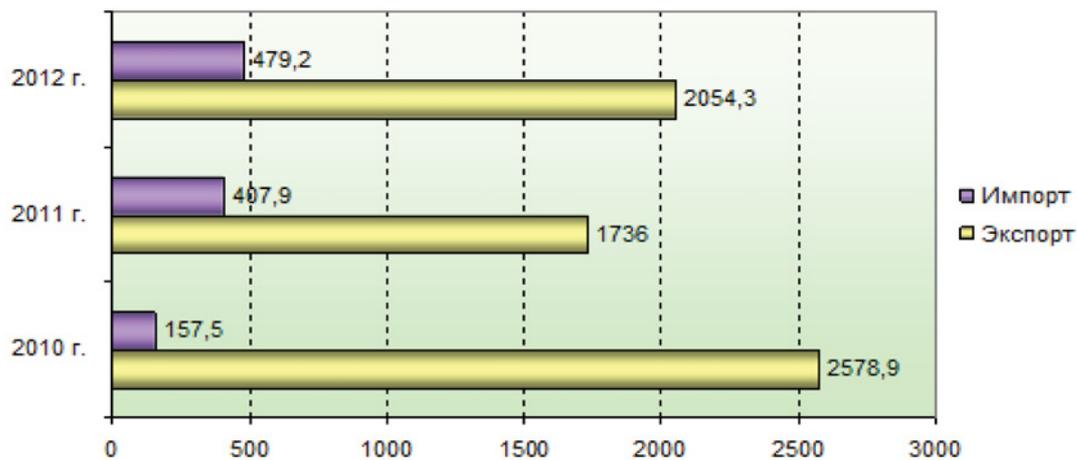


Рис. 1. Грузооборот ОАО «НСПЗ» за 2010 – 2012 гг., тыс. т

Основной тенденцией, обусловившей негативные изменения грузооборота ПК ОАО «НСПЗ» в отчетном году, стали последствия мирового финансово-экономического кризиса, в условиях которого ведущие экспортеры металлопродукции, выступающие заказчиками перегрузочных операций комплекса, резко снизили свое производство и объемы поставок ввиду отсутствия спроса.

В результате, объемы перевалки экспортируемых черных металлов, которые являются основным грузом для компании, снизились на 33,7 %. Перегрузочный комплекс предприятия в течение года перевалил 1,6 млн т данного груза против 2,5 млн т годом ранее.

Снижение перевалки черных металлов было частично компенсировано возобновлением перегрузки импортных грузов, которые выросли в объемах в 2,6 раза — с 157,5 до 408 тыс. т. В частности — цемента (121,6 тыс. т), рулонов горячеоцинкованной стали (121,7 тыс. т), скоропортящихся грузов (142,4 тыс. т).

За 2012 г. суммарный грузооборот ОАО «НСПЗ» составил 2533,5 тыс. т, что выше показателя предыдущего года на 389,6 тыс. т (или на 18,2 %). В отличие от предыдущего периода, предприятие наращивало объемы обслуживания как экспортных, так и импортных грузопотоков.

Грузооборот экспортных грузов вырос на 18,3%, прежде всего, за счет черных металлов, перевалка которых достигла 2160,3 тыс. т (+21,8 %). Импорт вырос на 17,5 %, прежде всего, за счет увеличения объемов обработки цемента в таре на 83,1 %: в апреле 2012 г. было подписано соглашение о перевалке цемента с турецкой компанией Çimsa. Грузопоток стали в рулонах показал прирост в 17,8 %, а объемы перевалки продуктовых и прочих грузов снизились на 26,1 % и 64 % соответственно.

В структуре грузооборота ОАО «НСПЗ» происходит постепенное снижение доли экспортных грузов — с 94,24 % в 2010 г. до 81 % в 2012 г. при соответствующем повышении доли импорта (около 19 % по данным за 2012 г.).

Стабильно высокой остается доля черных металлов: 91,19 % в 2010 г., 77,22 % в 2011 г., 79,61 % в 2012 г. (рис. 2).

В течение 2012 г. доли черных металлов и цемента увеличились на 2,39 % и 3,12 % соответственно на фоне уменьшения доли продуктовых грузов на 2,49 процентного пункта. На цемент в отчетном году пришлось 8,79% общего объема перевалки предприятия.

По сравнению с другими стивидорными операторами Новороссийского порта структура грузопотока ПК ОАО «НСПЗ» крайне неравномерна с ярко выраженным превалированием единственного груза. Налицо зависимость предприятия от экспортеров металлопродукции.

В табл. 2 приведены данные для анализа экономических показателей перегрузочного производства ОАО «НСПЗ».

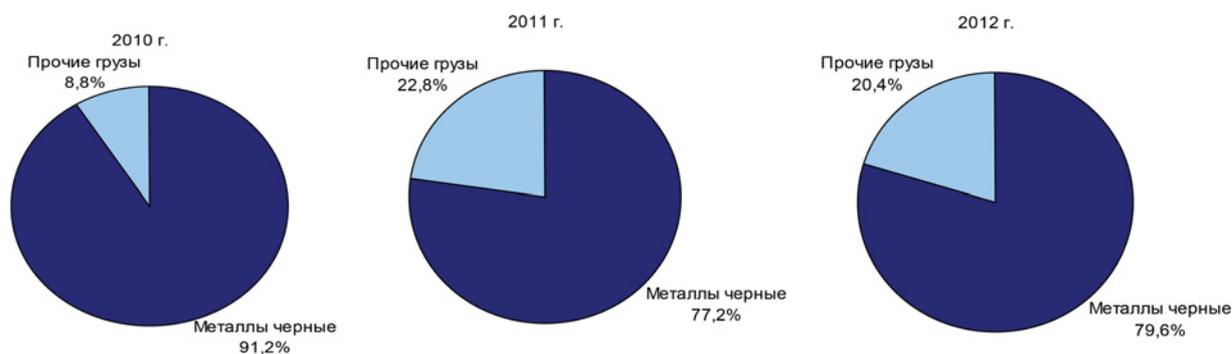


Рис. 2. Структура грузооборота ОАО «НСПЗ» за 2010 – 2012 гг.

Таблица 2

Анализ натуральных и стоимостных показателей деятельности перегрузочного производства ОАО «НСПЗ» за 2010–2012 гг.

| Показатель | 2010 г. | 2011 г. | Отклонение | Темп роста, % | 2012 г. | Отклонение | Темп роста, % |
|--|---------|---------|------------|---------------|---------|------------|---------------|
| Грузооборот, тыс. т | 2736,4 | 2143,9 | -592,5 | 78,3 | 2533,5 | 389,6 | 118,2 |
| Выручка от ПРР, тыс. руб. | 830170 | 619561 | -210609 | 74,6 | 721987 | 102426 | 116,5 |
| Средняя доходная ставка, руб./т | 303,4 | 289,0 | -14,4 | 95,3 | 285,0 | -4,0 | 98,6 |
| Себестоимость ПРР с учетом УР, тыс. руб. | 457765 | 434460 | -23305 | 94,9 | 538744 | 104284 | 124,0 |
| Средняя себестоимость перегрузки одной тонны груза, руб./т | 167,3 | 202,6 | 35,4 | 121,1 | 212,6 | 10,0 | 104,9 |
| Прибыль от реализации, тыс. руб. | 372405 | 185101 | -187304 | 49,7 | 183243 | -1858 | 99,0 |
| Рентабельность, % | 44,9 | 29,9 | -15,0 | 66,6 | 25,4 | -4,5 | 85,0 |

Анализируя данные табл. 2, прежде всего, следует выделить отрицательную тенденцию сокращения доходных поступлений от деятельности ПК ОАО «НСПЗ» в 2011 г. по сравнению с 2010 г. на 210609 тыс. руб. (или на 25,4 %).

Преимущественное влияние в данном случае оказали два фактора — сокращение грузооборота предприятия и снижение средней доходной ставки за перевалку груза на 14,4 руб./т (или на 4,7 %). В результате прибыль от реализации снизилась вдвое, а рентабельность работы перегрузочного комплекса — с 44,9 % до 29,9 %, т. е. на 15 %.

В 2012 г. положительная динамика грузооборота стала основной причиной увеличения выручки и себестоимости перегрузочного комплекса ОАО «НСПЗ» (рис. 3).

Выручка от реализации товарной продукции перегрузочного комплекса за 2012 г. составила 721987 тыс. руб., что больше показателя за предыдущий год на 102426 тыс. руб. (или на 16,5 %), хотя значение данного показателя так и не достигло уровня выручки за 2010 г. (830170 тыс. руб.). При этом абсолютное изменение средней доходной ставки за обработку одной тонны было отрицательным и составило 4 руб./т (-1,4 %).

Из-за более высоких темпов прироста себестоимости (24 %), связанных с ростом удельной себестоимости перегрузочных работ на 4,9%, по сравнению с выручкой прибыль от реализации работ и услуг перегрузочного комплекса снизилась на 1%, а рентабельность — на 4,5 %, составив 25,4 %.

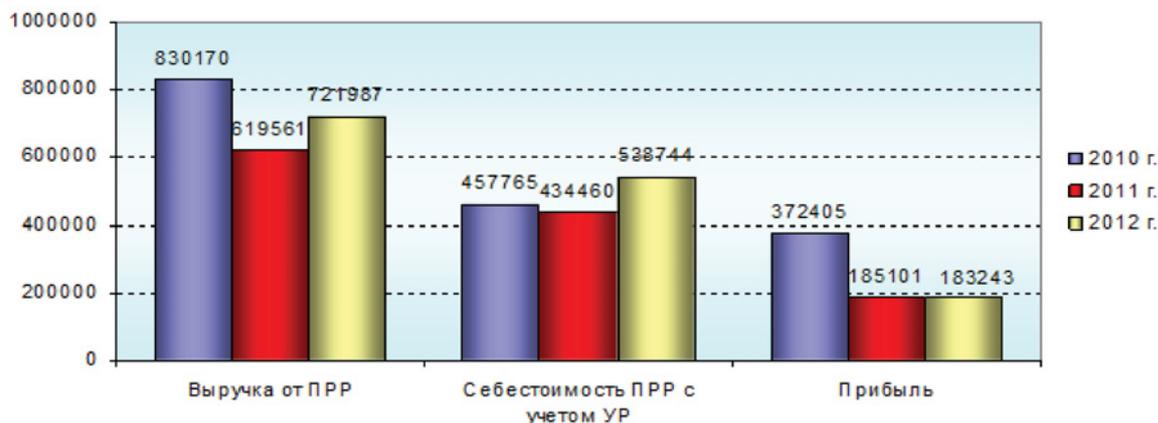


Рис. 3. Основные стоимостные показатели деятельности перегрузочного производства ОАО «НCR3» за 2010–2012 гг., тыс. руб.

В связи с падением прибыльности и рентабельности можно сделать вывод о снижении эффективности деятельности перегрузочного комплекса ОАО «НCR3» на протяжении довольно длительного периода.

Натуральные и стоимостные показатели деятельности судоремонтного производства ОАО «НCR3» за 2010–2012 гг. представлены в табл. 3.

Таблица 3

Анализ натуральных и стоимостных показателей деятельности судоремонтного производства ОАО «НCR3» за 2010–2012 гг.

| Показатель | 2010 г. | 2011 г. | Отклоне- ние | Темп роста, % | 2012 г. | Отклоне- ние | Темп роста, % |
|---|---------|---------|-----------------|---------------------|---------|-----------------|------------------|
| Производственные показатели | | | | | | | |
| Количество отремонтированных судов, ед. | 20 | 21 | 1 | 105,0 | 16 | -5 | 76,2 |
| Стоимость ремонта одного судна, тыс. руб./ед. | 3486 | 2156 | -1331 | 61,8 | 3672 | 1516 | 170,3 |
| Финансовые показатели | | | | | | | |
| Выручка от судоремонта, тыс. руб. | 69726 | 45271 | -24455 | 64,9 | 58751 | 13480 | 129,8 |
| Себестоимость с учетом УР, тыс. руб. | 84610 | 71092 | -13518 | 84,0 | 91939 | 20847 | 129,3 |
| Убыток от реализации, тыс. руб. | -14884 | -25821 | -10937 | - | -33188 | -7367 | - |

Как видно из данных табл. 3, несмотря на последствия кризиса и застой в судоремонтной отрасли России наметились положительные сдвиги в результатах работы ОАО «НCR3». Итогом проведенной работы по поиску заказчиков и созданию для них привлекательных условий стало увеличение количества заказов на ремонт судов. Так, по итогам 2011 г. заводом отремонтировано 21 судно, что на одну единицу больше, чем годом ранее.

Стоимостной объем судоремонтных услуг в размере 45271 тыс. руб. оказался на 35% ниже, чем показатель за прошлый год, что связано с разукрупнением заказов.

Полная себестоимость судоремонтных работ снизилась в 2011 г. по сравнению с 2010 г. на 16 %. Как и в 2010 г., предприятие несло убытки — около 25,8 млн руб. в 2011 г. (рис. 4).

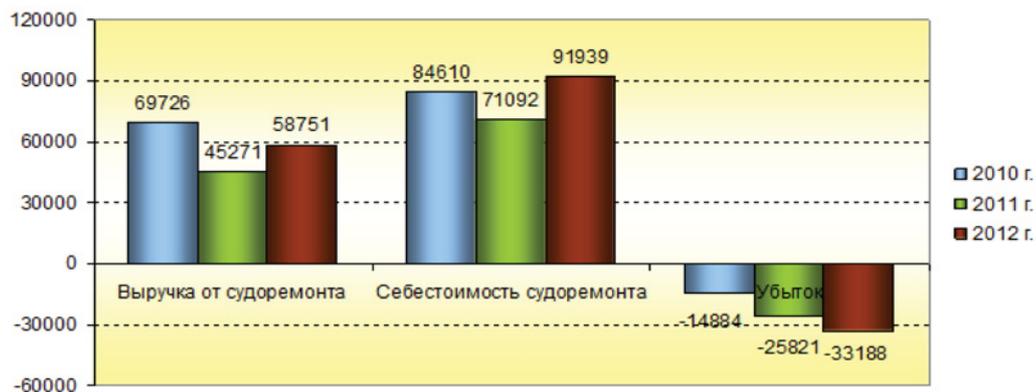


Рис. 4. Основные стоимостные показатели деятельности судоремонтного производства ОАО «НСПЗ» за 2010-2012 гг., тыс. руб.

По итогам 2012 г. заводом выполнен объем судоремонтных работ на сумму 58751 тыс. руб., отремонтировано 16 судов (из них два переходящих с 2011 г.). Загрузка мощностей рассматриваемого структурного подразделения обеспечивалась как за счет контрактов с предприятиями группы НМТП, так и за счет развития договорных отношений с прочими заказчиками. Так, количество судов (буксиров и бункеровщиков), отремонтированных в рамках договора с ОАО «Флот «НМТП» составило пять единиц. Общий объем доходов от этого заказчика составил 13680 тыс. руб. (или 23 % всей выручки судоремонта соответственно). С прочими заказчиками было заключено 11 договоров.

Несмотря на снижение количества отремонтированных судов по сравнению с 2011 г. на пять единиц, стоимостной объем судоремонтных работ вырос на 29,8 %, что связано с увеличением стоимости ремонта одного судна на 70,3 % (или на 1516 тыс. руб. на судно). В то же время себестоимость судоремонта выросла на 29,3 % и оказалась выше суммы поступивших доходов, что привело к убыточной деятельности рассматриваемого структурного подразделения ОАО «НСПЗ» в 2012 г.

Таким образом, на протяжении 2010–2012 гг. основной проблемой судоремонтного производства оставалась его убыточность. Факторами, препятствующими наращиванию положительных результатов в судоремонтной деятельности предприятия, являются низкое налоговое бремя соседних стран в области судоремонта по сравнению с законодательством РФ, отсутствие налоговых льгот при оказании соответствующих услуг российскими компаниями.

В целях сохранения судоремонта и повышения эффективности его деятельности необходимо проводить активное изучение конъюнктуры рынка судоремонтных услуг, прогноз ее изменений, активный поиск заказчиков, при выборе которых предпочтение отдавать наиболее выгодным контрактам исходя из возможностей завода и его специфики.

Показатели работы структурного подразделения ОАО «НСПЗ» по производству электрической и тепловой энергии представлены в табл. 4.

Таблица 4

Анализ производственно-экономических результатов хозяйственной деятельности структурного подразделения ОАО «НСПЗ» по производству электрической и тепловой энергии за 2010–2012 гг.

| Показатель | 2010 г. | 2011 г. | Отклонение | Темп роста, % | 2012 г. | Отклонение | Темп роста, % |
|--|---------|---------|------------|---------------|---------|------------|---------------|
| Выработано электрической энергии, тыс. кВт · ч | 23849 | 21086 | -2763 | 88,4 | 17808 | -3278 | 84,5 |
| Отпущено с шин электростанции, тыс. кВт · ч, в том числе | 22468 | 21086 | -1382 | 93,8 | 17812 | -3274 | 84,5 |

Таблица 4
 (Окончание)

| | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| на нужды завода | 6245 | 6677 | 432 | 106,9 | 5620 | -1057 | 84,2 |
| в сети «Кубаньэнерго» | 12816 | 10839 | -1977 | 84,6 | 9725 | -1114 | 89,7 |
| реализовано абонентам | 3407 | 3570 | 163 | 104,8 | 2467 | -1103 | 69,1 |
| Отпущено тепловой энергии абонентам, Гкал | 254 | 857 | 603 | 337,4 | 973 | 116 | 113,5 |
| Утилизировано тепла, Гкал | 6028 | 5765 | -263 | 95,6 | 5729 | -36 | 99,4 |
| Выручка от реализации, тыс. руб. | 22787 | 21006 | -1781 | 92,2 | 19170 | -1836 | 91,3 |

Данные табл. 4 свидетельствуют о том, на протяжении трех лет объемы отпущенной изучаемым предприятием электрической энергии снижались — на 6,2 % в 2011 г. и на 15,5 % в 2012 г. по сравнению с предшествующими периодами. В основном названная тенденция связана с постепенным уменьшением отпуска в сети «Кубаньэнерго», а в 2012 г. — и с уменьшением количества подключенных абонентов. Крупнейшими сторонними потребителями электроэнергии оставались ОАО «Новороссийский морской торговый порт», Новороссийский хладокомбинат и некоторые другие предприятия. На нужды завода в 2011 г. отпущено на 6,9 % больше, чем в прошедшем периоде. В 2012 г. с шин электростанции отпущено 5620 тыс. кВт · ч, что на 15,8 % меньше, чем в 2011 г. Объемы отпущенной теплоэнергии росли на протяжении всего периода — с 254 Гкал в 2010 г. до 973 Гкал в 2012 г.

Эксплуатация собственной электростанции дает ОАО «НСРЗ» экономический эффект в виде экономии затрат на тепловую и электрическую энергию, что существенно отражается на себестоимости основной продукции. Так, в сравнении с тарифами ЗАО «Кубаньэнерго» завод экономит на электро- и теплоэнергии ежегодно свыше 10 млн руб.

Объемы реализации электроэнергии сторонним абонентам за последние три года стабильно составляют около 70% электроэнергии, отпущенной с шин электростанции предприятия, поэтому оказывают наиболее значительное влияние на результаты судоремонтного производства. Вследствие сокращения отпуска электроэнергии сторонним абонентам выручка от данного вида хозяйственной деятельности ОАО «НСРЗ» в 2011 г. снизилась на 7,8 %, в 2012 г. — на 8,7 %. Для анализа ресурсов ОАО «НСРЗ» представлена табл. 5.

Таблица 5

Анализ производственных ресурсов ОАО «НСРЗ»

| Показатель | 2010 г. | 2011 г. | Отклонение | Темп роста, % | 2012 г. | Отклонение | Темп роста, % |
|--|-----------|-----------|------------|---------------|-----------|------------|---------------|
| Численность персонала, чел. | 1066,00 | 996,00 | -70,00 | 93,4 | 928,00 | -68,00 | 93,2 |
| Производительность труда, тыс. руб./чел. | 871,03 | 694,32 | -176,71 | 79,7 | 871,76 | 177,44 | 125,6 |
| Заработная плата, руб./мес. | 21093,73 | 18976,15 | -2117,58 | 90,0 | 24948,99 | 5972,84 | 131,5 |
| Стоимость основных фондов, тыс. руб. | 889153,00 | 904445,00 | 15292,00 | 101,7 | 964800,00 | 60355,00 | 106,7 |
| Фондоотдача | 1,04 | 0,76 | -0,28 | 73,2 | 0,84 | 0,07 | 109,7 |
| Фондовооруженность труда, тыс. руб./чел. | 834,10 | 908,08 | 73,98 | 108,9 | 1039,66 | 131,58 | 114,5 |
| Износ основных фондов, % | 57,77 | 57,22 | -0,55 | 99,1 | 55,20 | -2,03 | 96,5 |

На основании данных табл. 5 можно сделать вывод о недостаточно эффективном использовании ресурсов ОАО «НСПЗ» в 2011 г. Так, при сокращении численности работающих на 70 человек и росте стоимости основных фондов на 1,7 % производительность труда и фондоотдача уменьшилась на 20,3 % и 26,8 % соответственно. Причиной стал производственный спад, вследствие которого ресурсы использовались нерационально.

В 2012 г. наблюдалось улучшение использования производственных ресурсов ОАО «НСПЗ». Как и годом ранее, численность занятого персонала продолжала сокращаться — на 68 чел. (или на 6,8 %) по сравнению с 2011 г. Анализ показывает увеличение в этот период показателя производительности труда на 25,6 %, или на 177,44 тыс. руб./чел. Причиной роста производительности труда стало одновременное увеличение грузооборота комплекса и сокращение численности персонала. Среднемесячная заработная плата работников ОАО «НСПЗ» увеличилась на 31,5 % и составила около 24950 руб., что свидетельствует о повышении социальной защищенности персонала предприятия. В то же время темпы роста заработной платы (31,5 %) превышают темпы роста производительности труда (25,6 %) на 6 %, что говорит о том, что система мотивации труда на предприятии далека от совершенства.

Стоимость основных фондов в 2012 г. выросла на 6,7 % (или на 60355 тыс. руб.) по сравнению с уровнем 2011 г. — в том числе объем средств, инвестированных предприятием в приобретение новой техники и оборудования для существующего производства в рамках программы обновления основных производственных фондов, составил 48078 тыс. руб.

Сумма инвестиций в мощности перегрузочного комплекса составила 45255 тыс. руб. Были приобретены два терминальных тягача Kalmar с гузнеком г/п 32 т, погрузчик Kalmar г/п 20 т, два малотоннажных автопогрузчика г/п 10 и 7 т, роллтрейлеры. Для нужд судоремонтного производства были приобретены насос гидравлический с пневмоприводом и переносной абразивоструйный аппарат TIVIMAR для работы в труднодоступных местах.

Для служб Дирекции главного инженера были приобретены электроколонки для энергоснабжения причалов и прочее оборудование. Капитальные вложения административно-управленческого характера составили в отчетном году 8219 тыс. руб., из них 432 тыс. руб. направлено на закупку компьютерной и копировальной техники, модернизацию сетевого оборудования. Так был приобретен автобус ЛИАЗ для перевозки сотрудников и автомобиль Hyundai H1.

Можно отметить также увеличение в 2012 г. показателя фондоотдачи — на 9,7 % по сравнению с предыдущим годом. В основе роста данного показателя — наращивание выручки от реализации.

Результатом проводимой на протяжении 2010–2012 гг. политики обновления основных средств стал рост фондовооруженности труда — с 834,1 до 1039,66 тыс. руб./чел., а также снижение износа основных фондов с 57,77 % до 55,2 %, что свидетельствует о техническом прогрессе ОАО «НСПЗ».

Проведенный анализ выявил, что наиболее перспективным направлением развития ОАО «НСПЗ» является стивидорная деятельность. Также отметим, что согласно стратегическим планам развития предприятия, в качестве приоритетного направления развития компании ее руководство рассматривает возможность организовать на территории ОАО «НСПЗ» перевалку грузов (стивидорную деятельность) [6], [7]. Таким образом, по мнению автора, очевидным является необходимость усиления производственной деятельности предприятия в пользу развития стивидорного направления, что, в свою очередь, потребует совершенствования маркетингового направления. В частности, на мой взгляд, потребуется составление маркетингового плана, который должен включать мероприятия по привлечению дополнительных грузопотоков.

Вместе с тем анализ показал, что в 2011 г. эффективность хозяйственной деятельности ОАО «НСПЗ» была ниже, чем в предыдущем году (табл. 6).

**Динамика показателей рентабельности ОАО «НСПЗ»
 за 2010–2012 гг., %**

| Показатель | 2010 г. | 2011 г. | Отклонение | Темп роста, % | 2012 г. | Отклонение | Темп роста, % |
|--------------------------------------|---------|---------|------------|---------------|---------|------------|---------------|
| Рентабельность активов | 46,9 | 13,0 | –33,9 | 27,7 | 15,1 | 2,1 | 116,0 |
| Рентабельность оборотных активов | 105,0 | 24,8 | –80,2 | 23,6 | 28,4 | 3,5 | 114,2 |
| Рентабельность собственного капитала | 43,7 | 11,0 | –32,7 | 25,2 | 13,8 | 2,8 | 125,1 |
| Рентабельность продаж (оборота) | 37,9 | 23,4 | –14,5 | 61,7 | 18,8 | –4,6 | 80,3 |
| Рентабельность продукции | 61,0 | 30,5 | –30,5 | 50,0 | 23,1 | –7,4 | 75,7 |
| Рентабельность основных фондов | 31,4 | 8,7 | –22,7 | 27,8 | 11,9 | 3,1 | 136,0 |

Тенденция снижения объемов перевалки черных металлов, отрицательно сказавшаяся на большей части показателей ОАО «НСПЗ», привела к снижению эффективности финансовых ресурсов: показатели рентабельности активов, оборотных активов и собственного капитала снизились на 33,9 %, 80,2 % и 32,7 % соответственно. Рост себестоимости стал основной причиной снижения рентабельности продаж и продукции на 14,5 % и 30,5 % соответственно. Показатель рентабельности основных средств упал довольно значительно — на 22,7%, составив лишь 8,7 %. Можно сделать вывод о более успешной деятельности ОАО «НСПЗ» в 2012 г. по сравнению с данными 2011 г., что объясняется увеличением налогооблагаемой и чистой прибыли от хозяйственно-экономических операций предприятия.

Динамика рентабельности активов, оборотных активов и собственного капитала положительная. Перечисленные показатели возросли и составили 15,1 %, 28,4 % и 13,8 % соответственно, что является свидетельством финансовой успешности и состоятельности предприятия. Рентабельность основных фондов составила 11,9 % в 2012 г., что на 3,1 % превысило результаты 2011 г.

Рентабельность продаж и продукции снизилась на 4,6 % и 7,4 % соответственно, т. е. основная деятельность ОАО «НСПЗ» и его структурных подразделений отличается низкой экономической эффективностью. Присутствует существенный разрыв в динамике доходных ставок и удельной себестоимости работ и услуг, что ведет к снижению этих показателей на протяжении всего исследуемого периода.

Проведенный анализ показал, что в 2012 г. на фоне улучшения финансовых результатов деятельности ОАО «НСПЗ» отмечалось повышение расходов предприятия, снижение рентабельности продаж и рентабельности продукции, что связано с удорожанием осуществления погрузочно-разгрузочных работ. Это, в свою очередь, спровоцировало более низкие значения рентабельности активов в 2011–2012 гг. по сравнению с 2010 г.

С целью дальнейшего развития методологии анализа автором в работе дана интегральная оценка финансовой устойчивости предприятия на основе использования скорингового анализа. Суть данной методики состоит в классификации предприятий по степени риска с учетом фактического уровня показателей финансовой устойчивости и рейтинга каждого показателя, выраженного в баллах на основе экспертных оценок (табл. 7) [8], [9].

**Скоринговая модель оценки степени финансового риска
на основе трех показателей**

| Показатель | Границы классов согласно критериям | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| | I класс | II класс | III класс | IV класс | V класс |
| Рентабельность активов | 30 и выше 50 баллов | 20 – 29,9 35 – 49,9 баллов | 10 – 19,9 20 – 34,9 баллов | 1 – 9,9 5 – 19,9 баллов | Менее 1 0 баллов |
| Коэффициент текущей ликвидности | 2 и выше 30 баллов | 1,77 – 1,99 20 – 29,9 баллов | 1,4 – 1,69 10 – 19,9 баллов | 1,1 – 1,39 1-9,9 баллов | 1 и ниже 0 баллов |
| Коэффициент финансовой устойчивости | 0,7 и выше 20 баллов | 0,45 – 0,69 10 – 19,9 баллов | 0,30 – 0,44 5 – 9,9 баллов | 0,2 – 0,29 1 – 5 баллов | Менее 0,2 0 баллов |
| Границы классов | 100 баллов и выше | 65 – 99 баллов | 35 – 64 баллов | 6 – 34 баллов | 0 баллов |

Рассмотрим простую скоринговую модель с тремя балансовыми показателями, представленную в табл. 7. Она позволяет распределить предприятия по классам:

I класс — предприятия с хорошим запасом финансовой устойчивости, что позволяет быть уверенным в возврате заемных средств.

II класс — предприятия, демонстрирующие определенную степень риска задолженности, но еще не рассматривающиеся как рискованные.

III класс — проблемные предприятия.

IV класс — предприятия с высоким финансовым риском даже после принятия мер по финансовому оздоровлению, кредиторы рискуют потерять свои средства и проценты.

V класс — предприятия высокого финансового риска, практически бессильны.

Согласно этим критериям определим, к какому классу относится анализируемое предприятие (табл. 8).

Обобщающая оценка финансового риска ОАО «НСПЗ»

| Номер показателя | 2010 г. | | 2011 г. | | 2012 г. | |
|------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|
| | фактический уровень показателя | количество баллов | фактический уровень показателя | количество баллов | фактический уровень показателя | количество баллов |
| 1 | 46,9 | 50,0 | 13,0 | 19,5 | 15,1 | 22,5 |
| 2 | 5,0 | 30,0 | 5,6 | 30,0 | 5,6 | 30,0 |
| 3 | 0,9 | 20,0 | 0,9 | 20,0 | 0,9 | 20,0 |
| Всего | - | 100,0 | - | 69,5 | - | 72,5 |

Количество баллов, характеризующих степень финансового риска ОАО «НСПЗ», представлено на рис. 5.

Таким образом, по степени финансового риска, рассчитанной с помощью этой методики, ОАО «НСПЗ» в 2010 г. относилось к 1 классу финансового риска, а в 2011 – 2012 гг. — к классу 2, т. е. за два последних года его финансовое состояние несколько ухудшилось.

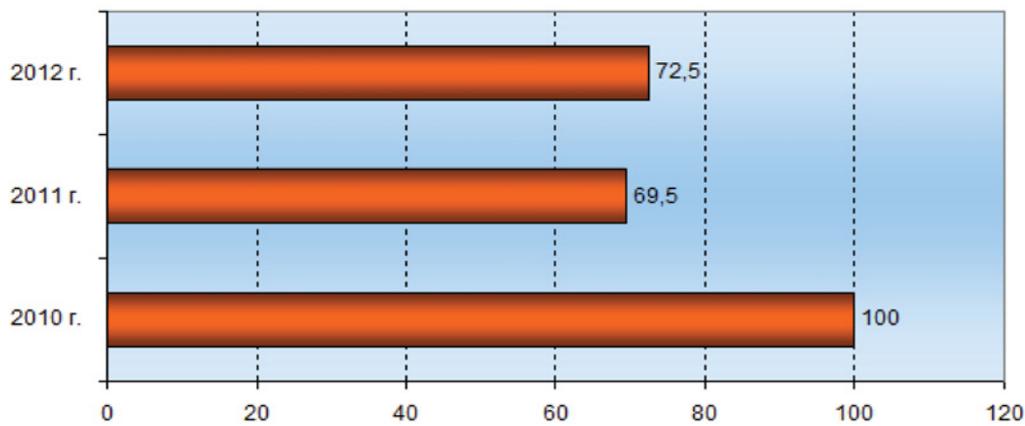


Рис. 5. Количество баллов, характеризующих степень финансового риска ОАО «НСПЗ» за 2010–2012 гг.

Как уже отмечалось, перегрузочный комплекс утратил свои позиции на российском рынке стивидорных операций, что свидетельствует о снижении конкурентоспособности его услуг [10]. В связи с изложенным, в настоящее время актуализируется необходимость разработки комплекса мероприятий, способствующих повышению эффективности деятельности ОАО «НСПЗ». Такие мероприятия представлены на рис. 6.

В дополнении к вышесказанному следует подчеркнуть, что востребованными направлениями повышения эффективности деятельности ОАО «НСПЗ» также являются следующие:

1. Повышение технической оснащенности. Реализация этого мероприятия приведет к повышению фондоотдачи, фондовооруженности, уровня механизации погрузо-разгрузочных работ, снижению трудоемкости.

2. Повышение уровня организации труда на погрузо-разгрузочных работах. Это предложение позволит снизить текучесть кадров, простои и неэффективные потери рабочего времени, повысить уровень квалификации кадров.

3. Реализация гибкой тарифной политики, учитывающей ценовые и географические преимущества портов-конкурентов.

4. Повышение энергоэффективности. Мероприятия по энергосбережению позволят снизить энергопотребление и повысить энергоэффективность.

5. Повышение эффективности использования основных фондов, а именно: освобождение предприятия от основательно изношенного оборудования (достигшего возраста двадцати лет и более); внедрение и модернизация современной погрузо-разгрузочной техники — кранов и погрузчиков; использование современных технологий на участках погрузо-разгрузочных работ, хранения, сушки и транспортировки грузов внутри порта; внедрение новых высокопроизводительных грузозахватных устройств, приспособлений, машин малой механизации.

Использование инновационных технологий в производстве позволит увеличить сроки службы основных фондов, снизить расходы на их техническое обслуживание, а также производственную себестоимость.

6. Развитие системы электронного документооборота с клиентами и партнерами предприятия. Реализация этого предложения позволит устранить потери времени на документооборот, которые существуют в настоящее время, а это, в свою очередь, приведет к увеличению производительности и грузооборота порта, обеспечить эффективный и прозрачный таможенный контроль и отслеживание грузопотоков.

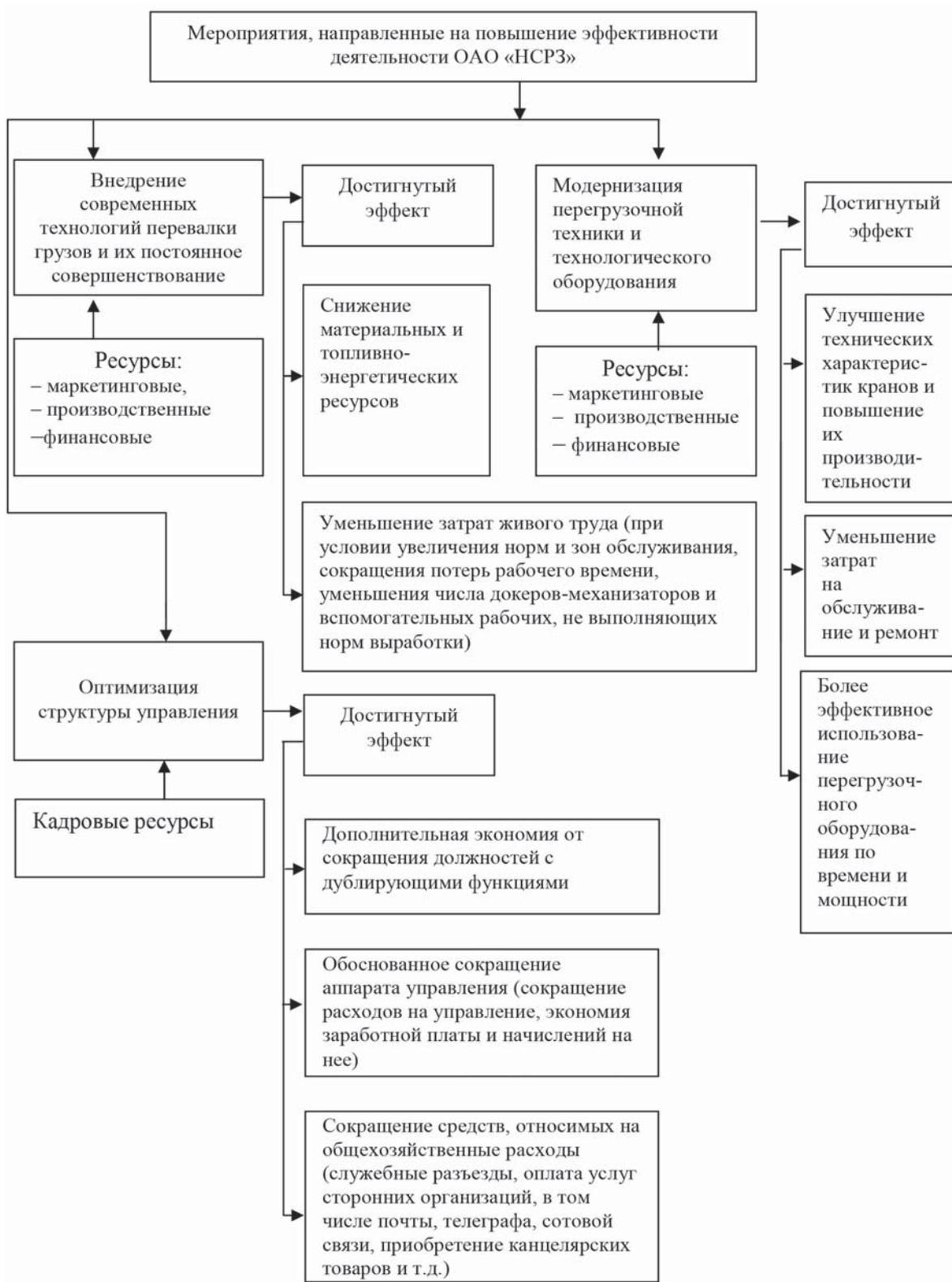


Рис. 6. Пути повышения эффективности деятельности ОАО «НСРЗ»

Предложенные мероприятия положительно отразятся на финансовых показателях ОАО «НСРЗ»: снизят расходы на производство, увеличат прибыль и рентабельность производственной деятельности, а также приведут к повышению конкурентоспособности предприятия на рынке стивидорных услуг, что доказывает целесообразность их применения.

Список литературы

1. Шеремет А. Д. Методика финансового анализа деятельности коммерческих организаций: учебник / А. Д. Шеремет. — М.: Инфра-М, 2012. — 345 с.
2. Анущенко К. А. Финансово-экономический анализ: учеб.-практ. пособие / К. А. Анущенко. — М.: Дашков и К, 2012. — 404 с.
3. Алексеева А. И. Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности: учеб. пособие / А. И. Алексеева, Ю. В. Васильев. — М.: КНОРУС, 2009. — 688 с.
4. Новороссийский судоремонтный завод [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.nsrz.ru/> (дата обращения: 10.10.2014).
5. Новороссийский морской торговый порт [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.nmtp.info/> (дата обращения: 10.10.2014).
6. Новороссийский СРЗ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://novomor.forum2x2.com/t23-topic> (дата обращения: 20.10.2014).
7. Антолович Р. Проект «Комплексное развитие Новороссийского транспортного узла»: перспективы реализации [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.rotransport.com/themes/8961/> (дата обращения: 20.10.2014).
8. Свиридова Н. В. Система рейтингового анализа финансового состояния организаций: учеб. пособие / Н. В. Свиридова. — М.: Альфа, 2012. — 256 с.
9. Савицкая Г. В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: учебник / Г. В. Савицкая. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Инфра-М, 2009. — 536 с.
10. Лепехина Ю. А. Анализ деятельности перегрузочного комплекса ОАО «Новороссийский судоремонтный завод» на российском рынке стивидорных услуг / Ю. А. Лепехина. // Журнал университета водных коммуникаций. — 2012. — №1. — 185 – 192 с.

УДК 330.341

Е. Д. Караваева,
канд. техн. наук, доц.;

В. И. Караваев,
канд. техн. наук, аналитик

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВОПРОСАМ СОЦИАЛЬНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

THEORETICAL APPROACHES TO SOCIAL RESPONSIBILITY IN WATER TRANSPORT

В данной статье исследованы понятийные сущности ответственности, социальной ответственности и корпоративной социальной ответственности. Научными результатами статьи являются авторское определение корпоративной социальной ответственности, ее основные признаки, классификация корпоративной социальной ответственности по различным критериям. Приведен анализ современного подхода к социальной ответственности в коммерческих организациях. В работе сделан акцент на вопросы социальной ответственности на водном транспорте, к основным видам которой отнесены проблемы безопасности грузовых и пассажирских перевозок, экологической защиты водной среды, а также вопросы, связанные с трудовой деятельностью работников организаций водного транспорта. Данная статья представляет собой теоретический подход к исследованию проблем корпоративной социальной ответственности на водном транспорте и является основой для дальнейших методических разработок для внедрения системы корпоративной социальной ответственности в организации водного транспорта, а также по оценке эффективности систем корпоративной социальной ответственности для конкретных организаций водного транспорта.

This article investigated the conceptual essence of responsibility, social responsibility, and corporate social responsibility. Based on this authors' definition of corporate social responsibility is given and its main features are

considered. The article presents the corporate social responsibility classification. The analysis of a modern approach to social responsibility in commercial organizations is presented. Emphasis is made in the paper on social responsibility issues on water transport. The paper focuses on the issues of social responsibility on water transport, the main species responsible for the security issues of freight and passenger transportation, environmental protection of the aquatic, as well as issues associated with the employment on water transport. This article presents a theoretical approach to the study of corporate social responsibility issues on water transport and it is the basis for further methodological developments for the implementation of corporate social responsibility in the organization of water transport, as well as to assess the systems effectiveness of corporate social responsibility for a particular water transport organisations.

*Ключевые слова: ответственность, корпоративная социальная ответственность, водный транспорт.
Key words: responsibility, corporate social responsibility, water transport.*

В ОДНЫЙ транспорт сегодня, как и прежде, является неотъемлемой частью транспортного обеспечения страны. Вопросам ответственности транспортных организаций посвящена не одна сотня различных исследований. Однако большинство этих исследований затрагивает проблемы юридической ответственности и рассматривает меры государственного принуждения к виновному лицу за уже совершенное правонарушение [1].

В зависимости от отрасли права, закрепляющей такую ответственность, выделяют:

- административную ответственность;
- дисциплинарную ответственность;
- материальную ответственность;
- гражданско-правовую ответственность;
- уголовную ответственность.

В административном законодательстве РФ (гл. 11 КОАП РФ) отдельно закреплено несколько составов административных правонарушений на водном транспорте (морском и внутреннем водном, включая смешанное (река-море) плавание). Отдельно в нашей стране приняты Кодекс внутреннего водного транспорта и Кодекс торгового мореплавания, в которых затронуты вопросы ответственности организаций водного транспорта. При этом в юридической литературе встречается понятие юридической ответственности, определяемое как разновидность общесоциальной ответственности (включающей также политическую, национальную, историческую, партийную и др.) [2].

Современные транспортные организации стоят перед необходимостью учитывать в своей работе факторы, выходящие за пределы обычных бизнес-решений. Эффективный менеджмент транспортной организации заключается в построении рациональных взаимоотношений со всеми заинтересованными сторонами. Сегодня на финансовый результат организаций оказывают влияние показатели взаимодействия со стейкхолдерами, а также риски, обусловленные не только экономическим, но и социальным эффектом, производимым деятельностью организаций на общество. В таких условиях одним из важнейших институтов цивилизованной рыночной экономики становится корпоративная социальная ответственность (КСО).

Концепция КСО представляет отказ от классического представления о том, что главной функцией организации является создание ценностей через производство товаров и услуг для удовлетворения потребностей общества и на этой основе получение прибыли для ее владельцев и акционеров [3]. Корпоративная ответственность в новых условиях не ограничена единственной целью максимизации ценности для акционера, но ставится цель максимизации ценности для всех заинтересованных сторон и для общества в целом.

Корпоративная социальная ответственность — это особый вид ответственности. Приведем некоторые частные определения понятия «ответственность».

– Ответственность — субъективная обязанность отвечать за поступки и действия, а также их последствия [4].

– Ответственность — определенный уровень негативных последствий для субъекта в случае нарушения им установленных требований [5]. По характеру санкций за совершаемые действия

выделяют следующие виды ответственности: юридическую, материальную, моральную, политическую и др.

Ответственность — личностная характеристика человека, описывающая его способность обстоятельно анализировать ситуацию, заранее прогнозировать последствия (весь комплекс следствий) своих действий или бездействий в данной ситуации и делать выбор формы своих поступков с готовностью принять последствия выбора как неизбежные свершившиеся факты [6].

Первое определение подразумевает наличие субъекта, перед которым у объекта имеются обязательства, имеется деятельность объекта (поступки, действия) и результаты деятельности (последствия). Второе определение дополняет первое наличием санкций по отношению к объекту в случае нарушений установленных требований. Третье определение под субъектом ответственности понимает человека, и ключевой момент здесь — это осознанность действий и последствий.

Итак, в систему определения понятия «ответственность» входят: объект, субъект, действия объекта, обязательства объекта перед субъектом, принятие санкций при неучете данных обязательств перед субъектом.

Предлагаем следующее общее определение ответственности.

Ответственность — это такое поведение объекта, системы, которое подразумевает учет интересов определенных субъектов. Т. е. предполагается, что у субъектов есть некоторые цели, достижение которых должно быть учтено при осуществлении деятельности объекта (реализации основных функций).

Объект ответственности — тот, кто действует.

Субъект ответственности — тот, чьи цели должны быть учтены. Цели могут быть определены установкой либо неких целевых показателей для объекта (в том числе в виде ограничений — не ниже или не выше какого-либо уровня), либо ограничений на правила поведения (реализацию функций) субъекта. Ответственность подразумевает необходимость «держать ответ», «отвечать» за свои действия — т. е. принять определенные санкции, наказание за результаты своих действий. Наше определение учитывает все указанные элементы, кроме принятия санкций, по следующим причинам: в ряде случаев санкции устанавливаются внешним регулятором отношений, например, государством, обществом, однако в большинстве случаев санкции со стороны субъекта ответственности отсутствуют. Субъект добровольно берет на себя ответственность исходя из принятых им моральных норм, ценностей и собственных интересов.

Объектом в понятии «КСО» является корпорация, т. е. организация, фирма, хозяйствующий субъект. Критерии объекта КСО необходимо уточнять (например, индивидуальный предприниматель может быть объектом КСО или нет). Можно вспомнить понятие «социальная ответственность бизнеса», но если под бизнесом понимать некие объекты, ведущие свою деятельность с целью получения прибыли, то из возможного списка выпадают некоммерческие организации, деятельность которых, очевидно, также связана с КСО.

Общие критерии объектов КСО — это ведение деятельности и наличие хозяйства. В широком смысле под корпорацией можно понимать всякое объединение с экономическими целями деятельности. Некоммерческая организация не имеет в качестве основной цели своей деятельности извлечение прибыли и не распределяет полученную прибыль между участниками, но при этом для достижения прочих целей в качестве промежуточных имеет экономические цели (например, получение дохода из тех или иных источников).

Слово «социальная» подразумевает, что субъектом ответственности является социум, общество в целом или его отдельные элементы. В связи с широтой возможных вариантов объектов ответственности необходимо выделить критерии, по которым произвести классификацию.

По количественному составу: один человек, малые группы (семья, соседи, учебный класс, группа, коллектив работников одного отдела и т.п.); к средним группам относятся производственные объединения работников предприятий, территориальные общности (жители одной деревни, города, района и пр.); в большие группы входят совокупности людей, существующие в масштабе

всего общества в целом, это — социальные слои, профессиональные группы, этнические сообщества (нации, народности), возрастные группы (молодежь, пенсионеры) и т.д.

По уровню достатка: бедные слои населения, средний класс, обеспеченные слои населения.

По возможности обеспечивать себя: дети, работающие, пенсионеры, инвалиды.

Принадлежность к территории: жители района, города, региона, страны, континента, планеты в целом.

По наличию прямых функциональных связей с объектом: государство, клиенты, работники, учредители, поставщики материалов и услуг, окружающая среда.

По наличию косвенных функциональных связей: бывшие и будущие клиенты, бывшие работники, возможные работники, члены семей работников, члены семей клиентов, жители района, города, субъекта, в котором находится организация, население страны в целом, все человечество в целом.

Прочие критерии: национальность, культура, язык, возраст, пол, профессия, состояние здоровья, место работы и т.д.

Учет интересов только одной социальной группы в понятии КСО приводит к явным перекосам в деятельности объекта: например, учет лишь интересов собственников приводит к чрезмерной эксплуатации работников и выпуску некачественной продукции; учет лишь интересов работников — к чрезмерным затратам на персонал и низкой производительности труда; учет лишь интересов государства — к чрезмерному налоговому бремени и контролю за бизнесом и т.д.

Исходя из сказанного, сформулируем определение корпоративной социальной ответственности.

Корпоративная социальная ответственность — это такая деятельность системы, преследующей экономические цели, при которой учитываются интересы различных социальных групп и общества в целом.

Для бизнеса концепция корпоративной социальной ответственности означает, что ответственное отношение к обществу и окружающей среде может сделать бизнес более конкурентоспособным, гибким, мобильным и привлекательным для сохранения потребителей и кадрового потенциала. Данная концепция способствует привлечению инвестиций и позволяет снизить риски компаний при сделках с банками и страховщиками, что является очень актуальным для организаций водного транспорта.

Главной задачей водного транспорта является обеспечение перевозок грузов и пассажиров. Главным критерием в организации этих перевозок выступает безопасность судоходства и транспортная безопасность. Со стороны государства новые условия обеспечения безопасности можно утверждать и усиливать бесконечно, но при этом необходимо дать возможность работать бизнесу. Область государственного регулирования выступает одной из сфер, через которую организации оказывают открытое влияние на государственные учреждения, регулирование общественного сектора и социальную инфраструктуру, например систему образования и транспорта, тем самым внедряя концепцию корпоративной социальной ответственности. Так, в рамках реализации ФЗ РФ «О транспортной безопасности» в 2012 г. были проведены работы по перекатегорированию объектов инфраструктуры с уменьшением нагрузки, транспортных средств морского и речного транспорта, планов обеспечения транспортной безопасности.

Ожидания современного российского общества относительно корпоративной социальной ответственности весьма разнообразны и противоречивы. Согласно результатам исследования, проведенного Ассоциацией менеджеров России, представители «заинтересованной общественности» отнесли к атрибутам КСО выпуск товаров высокого качества (21 % респондентов), выплату более высокой зарплаты (17 %), социальную защиту сотрудников и их семей (12 %), помощь в решении социальных проблем (12 %), защиту окружающей среды (11 %), четкую уплату налогов (11 %), поддержку благотворительной деятельности и фондов (10 %), искренность и верность обещаниям (10 %), поддержку нуждающихся и бедных слоев населения (9 %), обеспечение рабочими местами и защиту рабочих мест (8 %), обеспечение хорошей надежной работой (8 %), защиту ин-

тересов России (6 %), поддержку образования (6 %) [7]. Особый акцент в системе общественных ожиданий поставил Президент РФ В. В. Путин, подчеркнув роль бизнеса в создании «обновленной системы гарантий для граждан» [8].

В научной литературе по вопросам КСО выделяют два вида социальной ответственности: внутреннюю и внешнюю. К внутренней социальной ответственности, главным образом, относят вопросы, связанные с трудовой деятельностью работников организации. Внешняя КСО ориентирована на местные сообщества [9]; это ответственность перед населением в целом и различными стейкхолдерами в частности (потребителями, акционерами, инвесторами, органами власти, СМИ, общественными организациями и др.).

Любой вид транспорта, являясь формой человеческой деятельности, воздействует на окружающую среду. Транспорт использует дефицитные земельные ресурсы под инфраструктуру, расходует возобновляемые запасы топлива, производит выбросы и участвует в авариях, которые приводят к загрязнению. Судоходством осуществляется приблизительно 90% мирового товарооборота.

В настоящее время экологические показатели судоходства находятся под пристальным вниманием не только экологов в силу их профессиональной деятельности, но и политиков, законодателей и общественности в целом. Вопросы социальной ответственности в сложившихся условиях звучат наиболее актуально. Защита окружающей среды и экологическая безопасность водного транспорта — направления, относящиеся к внешней КСО. Однако данный вид транспорта оказывает значительно меньшее воздействие на окружающую среду, чем все другие. По информации авторитетных источников транспортный комплекс в целом производит около 14% всех выбросов парниковых газов, на долю судоходства приходится лишь 2%. С экологической точки зрения судоходство можно назвать наиболее эффективным видом транспорта [10].

Существует много факторов, связанных с морской безопасностью и предотвращением загрязнения окружающей среды с судов. Задействованные принципы переступают национальные и региональные границы, так как названная проблема по своей природе является глобальной. Политика в отношении морской безопасности и загрязнения моря и ее внедрение через практику и процедуры часто различаются в различных юрисдикциях. Поэтому весьма желательна региональная и национальная гармонизация по этим вопросам.

Международное сообщество под эгидой ИМО продолжает дискуссии относительно адекватного и действенного решения проблем морской безопасности и защиты морской среды. В этом отношении необходимо сотрудничество судоходной отрасли и отраслевых образовательных учреждений.

Список литературы

1. Введение в философию ответственности: монография / под ред. А.И. Ореховского. — Новосибирск, СибГУТИ, 2005. — 186 с.
2. Конституционное право: энциклопедический словарь / под ред. С. А. Авакьян. — М., Изд-во «Норма», 2000. — 688 с.
3. Трапицын С. Ю. Мотивация персонала в современной организации / С.Ю.Трапицын. — М., ООО «Книжный дом». 2007. — 240 с.
4. Ожегов С. И. Толковый словарь русского языка / С. И. Ожегов. — М., Оникс-ЛИТ, 2012. — 988 с.
5. Додонов В. Н. Юридический словарь / В. Н. Додонов, В. Д. Ермаков, М. Крылова. — М.: Инфра-М, 2001. — 790 с.
6. Жмуров В. А. Большая энциклопедия по психиатрии / В. А. Жмуров. — М.: Джангар, 2010. — 864 с.
7. Корпоративная социальная ответственность: общественные ожидания. Потребители, менеджеры, лидеры общественного мнения и эксперты оценивают социальную роль бизнеса в России / под ред. С. Е. Литовченко, М. И. Корсакова. — М.: Ассоциация менеджеров, 2003. — 100 с.

8. *Благов Ю. Е.* Концепция корпоративной социальной ответственности и стратегическое управление / Ю. Е. Благов // Российский журнал менеджмента. — 2004. — № 3. — 17–34 с.

9. *Шергин Е. А.* Почему уходят люди, или руководитель и ответственность [Электронный ресурс] / Е. А. Шергин. — Режим доступа: <http://www.e-xecutive.ru/career/adviser/1728844/index.php?ID=1728844> (дата обращения: 09.11.2014)

10. *Голоскокова Е. Д.* Международные правовые основы управления морской экологической безопасностью / Е. Д. Голоскокова // Безопасность личности, общества, государства (проблемы, задачи, технологии): сб. материалов Третьей Междунар. науч.-практ. конф. — СПб, 2009. — Т. 3. — С. 157–160.

УДК: 656.078.8: 656.615

М. В. Ботнарюк,
канд. экон. наук

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПОРТОВОЙ УСЛУГИ: СОЦИАЛЬНЫЙ АСПЕКТ

COMPETITIVENESS OF PORT SERVICE: SOCIAL ASPECT

В статье рассмотрены основные тенденции и условия формирования конкурентной среды морских портов в настоящий момент. Представлена оценка конкурентоспособности отечественных портов захода по основным критериям в сравнении с зарубежными конкурентами, а также результаты исследований, выполненных в направлении изучения понятий «морской порт» и «портовая услуга». Определены факторы, под влиянием которых формируется конкурентоспособность портовой услуги на макро-, мезо- и микроуровнях. На основании проведенных исследований определены новые факторы (отношения с ключевыми партнерами) и предложена модель формирования конкурентоспособности портовой услуги на основе процессного подхода и системы менеджмента качества.

The article describes the main trends and conditions of formation of the competitive environment of the sea ports at the moment. Presents an assessment of the competitiveness of domestic ports of call on the basic criteria in comparison with foreign competitors, as well as the results of research carried out in the direction of the study of the concepts of «sea port» and «port service». The factors that shape the competitiveness of port services at the macro, meso and micro levels are defined. On the basis of undertaken studies new factors (relationships with key partners) and the model of forming of competitiveness port service on the basis of process approach and system of management quality are offered.

Ключевые слова: морской порт, морской транспортный узел, портовая услуга, партнерские отношения, конкурентоспособность.

Key words: sea port, sea transport knot, port service, partnership, competitiveness.

Актуальность и перспективность разработки заявленной темы исследования

Современные условия ведения портового бизнеса характеризуются стремительным развитием интеграционных и глобализационных процессов, требующих перехода к становлению и развитию нового постиндустриального общества, ориентированного на информационные технологии, знания, усиление влияния потребителей услуг, доминирование роли партнерских отношений, концепции маркетинга и т.д. Существенно изменились и требования клиентов: большое внимание они уделяют не только качеству продукции, но и уровню до- и послепродажного обслуживания, выполнению индивидуальных пожеланий, что делает необходимым для продавца персонализацию и развитие длительных, взаимовыгодных отношений. В этой связи с целью завоевания устойчивых конкурентных преимуществ сегодня многие предприятия образуют альянсы, деловые сети,

а также выбирают иные формы сотрудничества, что позволяет им достигать синергетического эффекта с минимальными затратами.

Вместе с тем, критический обзор литературы показал, что в настоящий момент как российские (А.А. Давыденко, Г.А. Левиков, И.Е. Ливитин, П.В. Куренков, В.В. Попов и др.), так и зарубежные (Л.Д. Ветренко, О.Н. Кибик, С.В. Куценко и др.) исследователи изучают конкурентоспособность морского порта и портовой услуги исключительно в рамках логистического и производственного подходов, ориентируясь, в первую очередь, на технический, технологический и информационный аспекты. В этой связи, а также учитывая трансформировавшиеся конкурентные условия, по мнению автора, видится объективная необходимость в разработке новой модели формирования конкурентоспособности портовой услуги, что усилит рыночные позиции предприятий отрасли морского транспорта.

Обзор условий формирования конкурентной среды морских портов и факторы конкурентоспособности портовой услуги

Многофункциональная инфраструктура отечественных морских портов позволяет переваливать наливные, насыпные, генеральные, а также контейнеры и другие грузы [1], [2]. Вместе с тем анализ их деятельности показывает, что сегодня порты работают не столь эффективно как в течение прошлых лет: темп роста грузооборота в 2013 г. составил всего 103,9 % , что сопоставимо с уровнем 2007 г. (рис. 1).

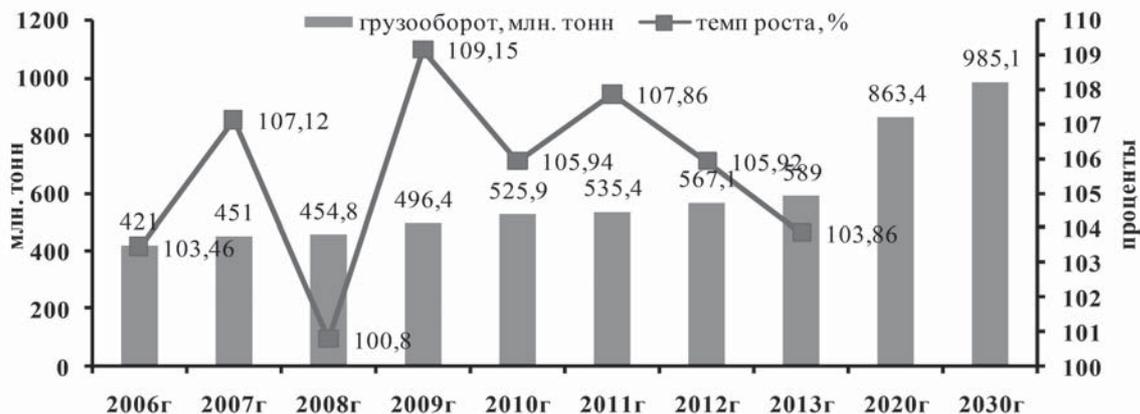


Рис. 1. Динамика и темпы роста объемов грузов, перегружаемых через отечественные морские порты за 2006 – 2013 гг., и прогноз до 2030 г.

Данный, безусловно, негативный факт, можно объяснить рецессией российской экономики, а также спадом мировой торговли. В этой связи беспокойство вызывают следующие цифры [3]:

- рынок сухогрузных морских перевозок в апреле 2014 г. снизил деловую активность, среднемесячное значение BDI упало до 1 033 пункта; снижение индексов для судов группы Capesize составило 878 пунктов (–32 %) и было вызвано снижением спроса на железную руду из-за высокого уровня складских запасов в Китае, в то время как снижение объемов экспорта зерновых из Аргентины повлияло на сектора Panamax и Supramax, которые упали на 252 пункта (–23 %) и 213 пунктов (–18 %) соответственно;

- в Азово-Черноморском бассейне снизились объемы экспорта металлопроката и других грузов из-за сложившейся ситуации в Украине;

- уровень ставок фрахта тоннажной группы Mini-Bulker Азово-Черноморского бассейна в среднем снизился на 0,5 – 1,0 долл./т.

Особо следует подчеркнуть, что анализ статистических данных, характеризующих основные показатели внешней торговли Российской Федерации в 2013 г., выявил снижение темпов роста внешнеторгового оборота: к концу года прирост данного показателя составил всего 0,2 %, в

то время как в начале года его значения находились на уровне 2 % [4]. Не радуют аналитиков и темпы роста валового внутреннего продукта: после резкого подъема в 2010 г. (с 92,9 % в 2009 г. до 104,5 %), в 2013 г. наблюдается снижение — 101,3 % [5].

Анализ рейтинга крупнейших морских портов мира также доказывает, что отечественные порты, являющиеся в настоящий момент на российском рынке портовых услуг «фаворитами», не входят даже в десятку лидеров (табл. 1) [2], [6].

Таблица 1

Грузооборот отечественных и иностранных портов в 2012 г. и прогноз на 2020 г., млн. т

| Порт (номер в рейтинге) | Ningbo (№1) | Singapore (№3) | Rotterdam (№5) | Qingdao (№7) | Tangshan (№9) | Новороссийск (-) | Усть-Луга (-) |
|-------------------------------|----------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------|---------------------|------------------|
| 2012 г. | 744 | 538 | 442 | 402 | 368 | 117,3 | 46,8 |
| 2020 г. | 805 | 577 | 473 | 435 | 398 | 152,2 | 87,4 |

Оценка конкурентоспособности отечественных портов захода по основным критериям показала, что они проигрывают иностранным конкурентам по всем параметрам (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение отечественных портов захода с иностранными конкурентами по основным критериям конкурентоспособности¹

| Критерии конкурентоспособности | Отечественные МТУ | Иностранные конкуренты |
|---|--------------------|------------------------|
| Балтийский бассейн: Санкт-Петербург / Норвегия, Финляндия | | |
| Стоимость обслуживания судна (средняя ставка) | 2 евро/т | 0,6 евро/т |
| Оплата погрузочно-разгрузочных работ (средняя ставка) | 10 евро/т | 4 евро/т |
| Время стоянки судна (танкер) | 36 ч | 30 ч |
| Ценность оказываемых услуг | Средняя | Высокая |
| Дальневосточный бассейн: Восточный / Япония, Китай | | |
| Стоимость обслуживания судна (судозаход, танкер) | 100 тыс. долл. США | 40 – 50 тыс. долл. США |
| Время стоянки судна (танкер) | 36 ч | 28 – 30 ч |
| Ценность оказываемых услуг | Средняя | Высокая |
| Азово - Черноморский бассейн: Новороссийск / Украина | | |
| Стоимость обслуживания судна (судозаход, танкер) | 86 тыс. долл. США | 72 – 80 тыс. долл. США |
| Оплата погрузочно-разгрузочных работ (зерно) | 26 долл. США/т | 14 долл. США/т |
| Время стоянки судна (танкер) | 36 ч | 32 – 36 ч |
| Ценность оказываемых услуг | Средняя | Средняя |

¹ Таблица составлена по материалам специализированных периодических изданий и сайтов Интернета, а также с учетом собственных результатов, полученных автором методом полевого исследования (глубинное интервью со специалистами стивидорных, экспедиторских, агентских компаний, а также с представителями администрации иностранных и российских судов).

Обобщая изложенное, приходим к заключению о том, что сегодня отечественные морские порты вынуждены работать в достаточно непростых условиях, что требует поиска новых путей повышения их конкурентоспособности и, в первую очередь, через обеспечение адаптивной к сложившейся ситуации конкурентоспособности оказываемых услуг. В этой связи видится объективная необходимость детального исследования понятий «морской порт» и «портовая услуга».

В Кодексе торгового мореплавания морской порт трактуется как совокупность объектов инфраструктуры морского порта, расположенных на специально отведенных территории и акватории и предназначенных для обслуживания судов, используемых в целях торгового мореплавания, комплексного обслуживания судов рыбопромыслового флота, обслуживания пассажиров, осуществления операций с грузами, в том числе — для их перевалки, и других услуг, обычно оказываемых в морском порту, а также для взаимодействия с другими видами транспорта [7]. Под объектами инфраструктуры морского порта понимаются портовые гидротехнические сооружения, внутренние рейды, якорные стоянки, доки, буксиры, ледоколы и иные суда портового флота, средства навигационного оборудования и другие объекты навигационно-гидрографического обеспечения морских путей, системы управления движением судов, информационные системы, перегрузочное оборудование, железнодорожные и автомобильные подъездные пути, линии связи, устройства тепло-, газо-, водо- и электроснабжения, иные устройства, оборудование, инженерные коммуникации, склады, иные здания, строения, сооружения, расположенные на территории и (или) акватории морского порта и предназначенные для обеспечения безопасности мореплавания, оказания услуг в морском порту, обеспечения государственного контроля и надзора в морском порту [8].

Таким образом, если рассматривать порт исключительно в рамках трактовки, предлагаемых на законодательном уровне, становится очевидным, что необходимо повышать конкурентоспособность объектов инфраструктуры, т. е. портовых гидротехнических сооружений, инженерных коммуникаций, складов и т.д., принадлежащих, как правило, совершенно разным собственникам. Подобная трактовка морского порта совершенно не затрагивает социальный аспект его деятельности — обслуживание покупателей портовых услуг, цель которого состоит не только в том, чтобы грамотно осуществить погрузочно-разгрузочные операции, но и в том, чтобы привлечь и удержать потребителей, что в итоге увеличит грузооборот. В этой связи, а также на основании результатов исследований особенностей обслуживания покупателей портовых услуг, проведенных методом полевого и кабинетного исследований на примере портов Новороссийск, Тамань, Темрюк, Мурманск, Санкт-Петербург и др., автор приходит к выводу, что с позиции отношенческого подхода и маркетинга взаимодействия современный морской порт представляет собой совокупность различных (экспедиторских, агентских, сюрвейерских, стивидорных и иных) компаний и государственных структур (таможня, администрация порта и др.). Принимая во внимание изложенное, а также учитывая, что сегодня морской порт — это пункт стыковки различных видов транспорта, а большинство крупных портов являются транспортно-логистическими центрами, входящими в состав логистической цепочки доставки грузов морем, их деятельность необходимо исследовать комплексно, акцентируя внимание не только на внутренних процессах, но и на внешних деловых связях.

Практика показывает, что основная цель функционирования предприятий, расположенных на территории морского порта, состоит в оказании портовых услуг, под которыми, в рамках данной статьи, понимаются услуги по обеспечению перевалки грузов (основные), а также сопутствующие и вспомогательные услуги, оказываемые судовладельцам, грузовладельцам, их законным представителям и иным лицам компаниями, организациями и структурами, осуществляющими свою деятельность на территории узла. Специфика портовой услуги состоит в

следующем. Во-первых, она обладает свойствами, характерными для услуги как товара (неосязаемость, невозможность создания запасов и др.). Во-вторых, одна компания не может предоставить покупателю весь спектр необходимых услуг. Следовательно, при определении факторов конкурентоспособности портовой услуги необходимо рассматривать не только производственный аспект (перевалка грузов), но и социальный (партнерские отношения, возникающие при обслуживании покупателя). Целесообразность акцентирования внимания на социальном аспекте также обосновывается и принципами менеджмента качества (составляющими базу стандарта ИСО 9001:2008), согласно которым большое внимание должно быть уделено потребителю, мотивации и вовлеченности высшего руководства. В частности, использование ИСО 9001:2008 гарантирует, что потребители получают продукцию и услуги стабильно хорошего качества, что, в свою очередь, даст много преимуществ бизнесу [9]. Особую роль данный стандарт отводит процессному подходу и постоянному совершенствованию.

В этой связи, а также на основании результатов изучения факторов, под влиянием которых формируется конкурентоспособность портовой услуги, установлено, что их можно разделить на следующие группы:

- макроуровень (тенденции развития морских портов мира, уровень научно-технического прогресса, инновации в сфере отрасли морского транспорта, политические, социальные и экономические факторы на уровне мировой экономики и государства);

- мезоуровень (политические, социальные и экономические особенности развития отрасли морского транспорта, а также региона, в котором расположен морской порт, тенденции конкурентной среды в отрасли, государственное регулирование);

- микроуровень (стоимость, качество, время обслуживания, финансовое состояние компаний порта, способность адаптации к динамично изменяющимся условиям, уровень развития портовой логистики и портового маркетинга, персонал, уровень организации труда и др.).

Учитывая, что в современных условиях, вследствие высокой степени клиентоориентированности экономики особое внимание уделяется качеству услуг, под которым, как правило, понимают совокупность характеристик, посредством которых услуга обладает способностью удовлетворять заявленные или предполагаемые потребности покупателя, рассмотрим фактор «качество» более подробно.

Практика показывает, что качество портовой услуги включает следующие ключевые аспекты: технический, технологический, экономический, правовой, информационный.

При этом мы полностью разделяем мнение М.Н. Коробковой в том, что «основной целью системы менеджмента качества становится не обеспечение качества продукции, а удовлетворение потребностей всех заинтересованных сторон и увеличение ценности для каждой из заинтересованных сторон» [10, с. 142]. Мы также поддерживаем позицию Е.А. Королевой и Е.В. Филатовой, которые на основании полученных результатов исследования сущности качества транспортно-экспедиционного обслуживания грузов в морском порту предлагают собственную классификацию качества, которая включает такие показатели как устойчивость связи с поставщиками, репутация (имидж) компании на рынке, общий объем клиентской базы, количество вовлеченных в сделку субъектов, следование установленным правилам работы, система стимулирования, взаимоотношения между подразделениями [11, с. 155 – 156].

В этой связи, а также ориентируясь на такие принципы менеджмента качества как ориентация на потребителя, вовлечение персонала, взаимовыгодные отношения с поставщиками [9], при определении качества портовой услуги считаем необходимым выделить социальный аспект, под которым автор понимает ценность отношений, возникающих при оказании услуги. В данном случае речь идет о тех выгодах, которые получает покупатель услуг в результате взаимовыгодного, плодотворного сотрудничества в течение процесса его обслуживания.

Исследование практической деятельности стивидорных, экспедиторских, агентских компаний, а также иных предприятий отрасли морского транспорта, которые выступают в качестве продавцов портовых услуг позволяет констатировать, что в течение всей транзакции покупатель и продавец постоянно контактируют, причем даже после фактического оказания услуги (завершают финансовые и иные операции в течение периода, длительность которого составляет иногда более шести месяцев). Более того, необходимо подчеркнуть, что в силу указанной ранее специфики портовой услуги в обслуживании покупателя участвует несколько независимых компаний (например, стивидорная, агентская, экспедиторская, сюрвейерская и т.д.), партнерские отношения которых также оказывают влияние на качество услуги. Это выражается в том, что вследствие слабой координации действий могут быть нарушены сроки оказания услуги (снизится надежность работы транспортной системы), что негативно отразится на уровне обслуживания клиента. В этой связи, по мнению автора, при исследовании факторов конкурентоспособности портовой услуги партнерские отношения, возникающие при ее оказании, необходимо рассматривать как отдельную группу факторов микроуровня:

- партнерские отношения с клиентом;
- партнерские отношения между участниками обслуживания покупателя услуги.

Также необходимо подчеркнуть, что в современных условиях не следует оставлять без внимания значимость при обслуживании покупателя роли персонала компании-продавца, что требует выделения еще одного фактора — фактора отношений персонала и работодателя.

Это позволит предприятиям, продающим портовые услуги, найти дополнительные источники конкурентных преимуществ, что, безусловно, является актуальным, поскольку аналитиками прогнозируется устойчивый рост объемов портовых мощностей, что требует привлечения дополнительных грузопотоков и, соответственно, расширения клиентской базы [12].

С целью дальнейшей разработки данного направления, принимая во внимание изложенное, а также то, что одним из ключевых принципов менеджмента качества является процессный подход, в статье предлагается авторская модель формирования конкурентоспособности портовой услуги.

Модель формирования конкурентоспособности портовой услуги на основе процессного подхода и системы менеджмента качества

Процессный подход рассматривает управление как непрерывную серию взаимосвязанных действий или функций, что является залогом устойчивых конкурентных позиций компании и конкурентоспособности услуги как товара. Он акцентирует внимание на значимости горизонтальных связей и изменяет расстановку акцентов при ведении бизнеса, выделяя в качестве приоритетных важность партнерского сотрудничества как между отдельными производственными подразделениями, так и с деловыми партнерами (клиентами, поставщиками), которые выступают в качестве «потребителей услуг и других заинтересованных лиц».

Таким образом, в рамках процессного подхода, с учетом соблюдения принципов менеджмента качества и новых факторов конкурентоспособности (отношения с ключевыми партнерами и персоналом компаний-продавцов в том числе) модель формирования конкурентоспособности портовой услуги примет вид, представленный на рис. 2 (модель составлена по [13]).

В качестве пояснения к рис. 2 отметим, что обеспечение конкурентоспособности портовой услуги, по мнению автора, должно базироваться на постоянном улучшении системы качества в рамках ориентации не только на менеджмент ресурсов, но и менеджмент партнерских отношений. Это связано с тем, что грамотное управление отношениями, возникающими при обслуживании покупателя, является залогом удовлетворенности последнего. При этом необходимо чтобы между требованиями потребителей (и других заинтересованных сторон), базирующихся на обещаниях продавцов, и их удовлетворенностью соблюдался минимальный разрыв, что обеспечит завоевание лояльности клиентов и повысит конкурентоспособность портовой услуги.

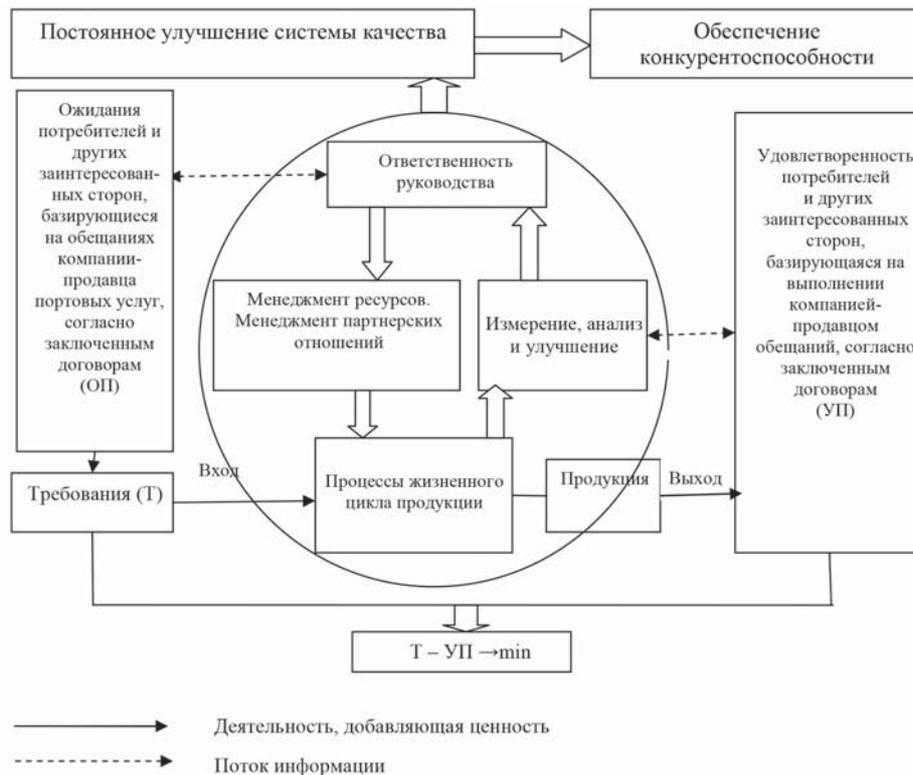


Рис. 2. Модель формирования конкурентоспособности портовой услуги на основе процессного подхода и системы менеджмента качества

Список литературы

1. Все грузы России / Морские порты. — 2014. — № 1. — С. 69.
2. <http://www.morport.com/rus/> (дата обращения: 27.10.2014).
3. Рынок сухогрузных морских перевозок в апреле 2014 года — http://cfts.org.ua/import/get_file.php?parent_id=39259&id=63041 (дата обращения: 27.11.2014).
4. Статистика внешней торговли России в 2013 г.: цифры и ключевые показатели. — <http://провэд.рф/analytics/research/10888-statistika-vneshney-topgovli-possii-v-2013-godu-tsifry-i-klyuchevye-pokazateli.html> (дата обращения: 27.11.2014).
5. <http://info.minfin.ru/gdp.php> (дата обращения: 27.11.2014).
6. <http://advian.ru/en/news/44-news/171-gruzooborot-portov-rastet/> (дата обращения: 27.10.2014).
7. ФЗ «Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации» от 07.03. 2001г. № 24-ФЗ. — <http://base.consultant.ru> (дата обращения: 27.11.2014).
8. ФЗ от 8.11.07г. N 261-ФЗ «О морских портах в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». — <http://base.garant.ru/12157006/> (дата обращения: 27.11.2014).
9. ИСО 9000 — Менеджмент качества. — http://www.iso.org/iso/ru/home/standards/management-standards/iso_9000.htm (дата обращения: 14.12.2014).
10. Коробкова М. Н. Применение процессного и системного подходов при формировании качества портовых услуг / М. Н. Коробкова. // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 3 (19). — С. 141–147.
11. Королева Е.А. Сущность качества транспортно-экспедиционного обслуживания / Е.А. Королева, Е.В. Филатова. // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 3(19). — С. 152–157.
12. Ботнарюк М. В. Приоритеты развития морской портовой инфраструктуры в современных условиях / М. В. Ботнарюк. // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 2. — С. 136–143.
13. ISO 9000. — https://ru.wikipedia.org/wiki/ISO_9000(дата обращения 14.12.2014).

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.396

А. В. Саушев,
канд. техн. наук, доц.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАТЕГОРИИ «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА»

MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF CATEGORY ELECTROTECHNICAL SYSTEM

На основе системного подхода и всестороннего анализа известных понятий и определений электротехники формулируется понятие категории «электротехническая система» и приводится ее морфологический анализ применительно к объектам водного транспорта. Рассматриваются различия между понятиями «электротехническое изделие», «электротехническое устройство», «электронное устройство», «электронный элемент» и приводятся их примеры. Установлено, что электротехнические системы являются динамическими системами, которые можно в большинстве случаев рассматривать как системы автоматического управления или автоматические управляющие устройства. Рассматриваются параметры, характеризующие состояние электротехнических систем. Показано, что важнейшим классом этих систем являются электромеханические системы. Рассматривается классификация электромеханических систем и приводится структурная схема электропривода — самой распространенной электромеханической системы объектов водного транспорта.

On the basis of system approach and the comprehensive analysis of known concepts and definitions of electrical equipment the concept of category electrotechnical system is formulated. The morphological analysis of this category in relation to objects of a water transport is provided. Distinctions between concepts an electrotechnical product, the electrotechnical device, the electronic device, an electronic element are considered and their examples are given. It is established that electrotechnical systems are dynamic systems which can be considered in most cases as system of automatic control or automatic actuation devices. The parameters characterizing a condition of electrotechnical systems are considered. It is shown that the most important class of these systems are electromechanical systems. Classification of electromechanical systems is considered and the block diagram of the electric drive which is the most widespread electromechanical system of objects of a water transport is provided.

Ключевые слова: система, электротехническая система, электромеханическая система, морфологический анализ.

Key words: system, electrotechnical system, electromechanical system, morphological analysis.

В НАСТОЯЩЕЕ время отсутствует общепринятое определение категории «электротехническая система», что приводит к субъективным толкованиям данного понятия и, как следствие, к неточностям и разночтениям при решении разнообразных задач анализа и синтеза электротехнических систем [1] – [3].

Целью работы является определение понятия «электротехническая система» и его морфологический анализ применительно к объектам водного транспорта. Для решения поставленной задачи рассмотрим близкие к электротехнической системе определения, приведенные в ГОСТах и справочниках, а также определения ближайших более общих понятий — «техническая система» и «система». При этом, согласно функционально-структурному анализу, будем исходить из того, что любая техническая система реализует определенную совокупность функций, среди которых выделяют целевую, основные и дополнительные функции. Их воспроизведение осуществляется совокупностью некоторых элементов, объединенных в соответствующую структуру. При взаимодействии элементов системы можно выделить процессы преобразования вещества, энергии и информации.

Электротехника — отрасль науки и техники, связанная с применением электрических и магнитных явлений для преобразования энергии, получения и изменения химического состава веществ, производства и обработки материалов, передачи информации, охватывающая вопросы получения, преобразования и использования электрической энергии в практической деятельности человека.

Электротехника — область науки и техники, изучающая электрические и магнитные явления и их использование в практических целях.

Электроника — наука о взаимодействии электронов с электромагнитными полями и методах создания электронных приборов и устройств, в которых это взаимодействие используется для преобразования электромагнитной энергии (в основном для передачи, обработки и хранения информации). Из приведенных определений следует, что электроника является составной частью электротехники, которая, в свою очередь, служит составной частью более общего понятия «техника».

Электротехническое изделие — это изделие, предназначенное для производства или преобразования, передачи, распределения или потребления электрической энергии [4].

Согласно [5], *изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии*. При этом устанавливаются следующие виды изделий: детали, сборочные единицы, комплексы, комплекты. Таким образом, согласно данному определению, изделием может быть:

- любая деталь (гайка, клемма, отрезок кабеля или провода заданной длины);
- сборочная единица (автомобиль, станок, телефонный аппарат, электрооборудование плавучего крана, набор составных частей врезного замка);
- комплекс (цех-автомат, автоматическая телефонная станция, бурильная установка, земснаряд, роторный экскаватор, бумагоделательная машина);
- комплект (комплект запасных частей, комплект инструментов и принадлежностей, комплект измерительной аппаратуры, осциллограф в комплекте с укладочным ящиком, запасными частями, монтажным инструментом, сменными частями).

Согласно [6], *изделие — это единица промышленной продукции, количество которой может исчисляться в штуках (экземплярах)*. К изделию могут относиться законченные и незаконченные предметы производства, в том числе заготовки. При этом *единица продукции* — это отдельный экземпляр штучной продукции или определенное в установленном порядке количество нештучной или штучной продукции.

В технической литературе имеются и другие, близкие по содержанию определения понятия «изделия», откуда следует, что данный термин, прежде всего, характеризует предмет производства. Наравне с этим признаком будем считать, что *изделие — это отдельный простейший экземпляр штучной продукции*.

Таким образом, к электротехническим изделиям будем относить простейшие электротехнические предметы труда: электрические выключатели, электрические розетки, реле, термостаты, клеммные колодки, дроссели и т. п.

Электротехническое устройство — это совокупность взаимосвязанных электротехнических изделий, находящихся в конструктивном и (или) функциональном единстве, предназначенная для выполнения определенной функции по производству или преобразованию, передаче, распределению или потреблению электрической энергии [4].

Электротехническое устройство — это совокупность компонентов, использующих электромагнитную энергию для выполнения определенной функции. При этом само устройство может быть рассмотрено как компонент более сложной совокупности [7].

В отличие от понятия «электротехническое средство», в определении понятия «электротехническое устройство» отмечается, что оно предназначено для выполнения требуемой функции и состоит из нескольких изделий. В дальнейшем будем считать, что электротехническое устройство принципиально может состоять и из одного изделия. При этом к устройству и изделию можно будет отнести, например, электрическую машину, электрический аппарат, электронагревательный прибор,

электронную аппаратуру. Однако принципиальным является то, что используя термин «изделие», подчеркивается, что это предмет труда, а употребляя термин «устройство», прежде всего, выделяется функция, ради достижения которой это устройство создавалась. При этом в электротехническом устройстве для обеспечения требуемой функции обязательно используется электромагнитная энергия. Само устройство при этом используется либо для производства (преобразования), либо для передачи, либо для распределения или потребления электрической энергии.

Электронное изделие — это изделие, содержащее в конструкции электронные элементы, блоки и узлы [8].

Электронный элемент — это комплектующий элемент, в котором осуществляется электронная или электронно-дырочная проводимость.

Комплектующие элементы (компоненты) — это отдельные элементы, совокупность которых обеспечивает единство конструкции и выполнение функций изделия.

Электронный узел — это группа электронных элементов, расположенных в конструкции, замена которых может быть проведена без повреждения конструкции. Примером электронного узла является группа элементов, смонтированных на печатной плате.

Электронный блок — это группа узлов, по крайней мере, один из которых электронный. Примерами электронных изделий являются телевизионные приемники, преобразователи частоты и электронные звонки.

Таким образом, *электронное изделие* — это слаботочное изделие, потребляющее электрическую энергию, состоящее из электронных элементов и предназначенное для обработки, хранения и передачи некоторой информации. Из приведенных определений следует, что электронное изделие является частным случаем электротехнического изделия.

Категории «система» и «техническая система» не имеют однозначного толкования. В литературе приводится большое разнообразие определений этих понятий. Например, согласно [9] *система* — это совокупность элементов, объединенная связями между ними и обладающая определенной целостностью.

Проанализировав известные определения, можно выделить основные признаки технических систем:

- системы состоят из частей, элементов, то есть имеют структуру;
- системы созданы для каких-то целей, то есть выполняют полезные функции;
- элементы (части) системы имеют связи друг с другом, соединены определенным образом, организованы в пространстве и времени;
- каждая система в целом обладает каким-то особым качеством, неравным простой сумме свойств составляющих ее элементов, иначе пропадает смысл в создании системы (цельной, функционирующей, организованной).

Таким образом, техническую систему можно определить как совокупность упорядоченно взаимодействующих элементов, обладающую свойствами, не сводящимися к свойствам отдельных элементов, и предназначенную для выполнения определенных полезных функций. Из данного определения следует, что техническая система имеет четыре основных (фундаментальных) признака:

- функциональность;
- целостность (структура);
- организация;
- системное качество.

Отсутствие хотя бы одного из этих признаков не позволяет считать какой-либо объект исследованием технической системой.

Элементы — это части или компоненты системы, условно принятые неделимыми.

Совокупность (целостность) элементов и свойств — неотъемлемый признак системы. Соединение элементов в единое целое необходимо для получения (образования, синтеза) полезной функции, т.е. для достижения поставленной цели. Если определение функции (цели) системы, в

какой-то мере, зависит от человека, то структура является объективным ее признаком и зависит только от вида и материального состава используемых в технической системе элементов, а также от фундаментальных законов природы, определяющих способы соединения, виды связи и режимы функционирования элементов в ней. В этом смысле структура — это способ взаимного соединения элементов в системе. Составление структуры — это, по существу, программирование системы, задание ее поведения с целью получения полезной функции. Требуемая функция и выбранный физический принцип ее осуществления однозначно задают структуру.

Структура — это совокупность элементов и связей между ними, которые определяются физическим принципом осуществления требуемой полезной функции. Структура остается неизменной в процессе функционирования, т. е. при изменении состояния, поведения, совершения операций и любых других действий. Главное в структуре — это элементы, связи и ее неизменность во времени.

«Элемент» и «система» являются относительными понятиями. Любая система может являться элементом системы более высокого ранга, так же, как и любой элемент можно представить в виде системы элементов более низкого ранга.

Элемент — относительно целая часть системы, обладающая некоторыми свойствами, не исчезающими при отделении от системы. Однако в системе свойства элемента не равны свойствам отдельно взятого элемента.

Сумма свойств элемента в системе может быть больше или меньше суммы его свойств вне системы. В большинстве случаев часть свойств элемента нейтрализуется в системе, как бы исчезает; в зависимости от величины этой части говорят о степени потери индивидуальности элемента, включенного в систему. Система обладает частью свойств элементов ее составляющих, но ни один элемент бывшей системы не обладает свойством всей системы (системным эффектом, качеством). Таким образом, элемент — это минимальная единица системы, способная к выполнению некоторой элементарной функции.

Рассмотренный анализ позволяет дать следующее определение категории «электротехническая система» (ЭТС): *под ЭТС с информационно-энергетической точки зрения будем понимать такую техническую систему, основным носителем информации и видом энергии которой является электрическая энергия; под ЭТС с функциональной и морфологической точек зрения будем понимать техническую систему, предназначенную для получения, распределения, преобразования, использования электрической энергии и управления этими процессами.*

Элементами электротехнической системы (ЭТС) являются электротехнические устройства (ЭТУ). Любое ЭТУ с системных позиций также состоит из совокупности связанных между собой элементов. Отдельные элементы — это части или компоненты ЭТУ, предназначенные для выполнения определенных функций и не подлежащие дальнейшему разбиению на части. Таким образом, любое ЭТУ также может рассматриваться как ЭТС.

Понятие «элемент» является весьма условным. В зависимости от решаемой задачи и рассматриваемого иерархического уровня (микро-, макро- и метауровни) «расчленение» ЭТУ на элементы может быть произведено неоднозначно. В большинстве случаев при решении задач анализа и синтеза ЭТС комплектующими элементами ЭТУ являются пассивные элементы: резисторы, конденсаторы, индуктивности, пружины, демпферы и активные элементы — диоды, транзисторы, тиристоры и микросхемы. Это могут быть усилители, преобразователи, фильтры, корректирующие устройства и т. д., которые, в свою очередь, являются элементами ЭТС или ее подсистемы (например, системы импульсно-фазового управления для электропривода или системы распределения нагрузки между генераторами для системы электроснабжения судна).

При изучении поведения ЭТС во времени последние обычно рассматриваются как динамические системы, т. е. системы, находящиеся в каждый момент времени в одном из возможных состояний и способные переходить из одного состояния в другое под действием внешних и внутренних причин. Чтобы учесть внешние причины, необходимо раскрыть процесс взаимодействия динамической системы и внешней среды [10], [11].

Воздействия внешней среды на динамическую систему будем называть *входными воздействиями*, среди которых можно выделить задающие воздействия $\mathbf{u}(t)$, определяющие режим работы системы и называемые также *полезными сигналами*, и возмущающие воздействия внешней среды $\mathbf{V}(t)$, к которым относятся координатные $\mathbf{V}(t)$ и параметрические $\mathbf{V}_p(t)$ возмущения. Координатные возмущения, называемые также *помехами*, или *случайными входными сигналами*, обусловлены влиянием силовых полей других систем. Для ЭТС к ним, например, можно отнести различные наводки и гальванические связи по питанию. По своей физической природе полезные сигналы и помехи являются фазовыми переменными и для ЭТС представляют собой, например, токи, напряжения и мощности.

Параметрические возмущения обусловлены изменением физических характеристик элементов системы, что вызвано действием различных дестабилизирующих факторов внешней среды, таких как температура, влажность, запыленность, солнечная и проникающая радиация и т. д.

Воздействия динамической системы на внешнюю среду будем называть *реакциями системы*, или *выходными сигналами*, и обозначать их множество через вектор $\mathbf{Y}(t)$, а выходные сигналы ЭТУ обозначать как $\mathbf{Z}(t)$.

По своей физической природе выходные сигналы являются фазовыми переменными. Точки приложения входных сигналов будем называть *входами системы*, а точки наблюдения выходных сигналов — *выходами системы*.

Состояние ЭТС в любой фиксированный момент времени характеризуется некоторым набором (вектором) параметров. К их числу следует отнести:

- входные параметры $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_k, \dots, u_e)$, характеризующие задающие воздействия $\mathbf{u}(t)$ и наблюдаемые на входах системы. Задающие воздействия подразделяются на управляющие воздействия, характеризующие рабочие режимы работы ЭТС, и тестовые (пробные) воздействия, которые имеют место в режимах наладки и технического диагностирования ЭТС;
- внешние параметры $\mathbf{V} = (v_1, v_2, \dots, v_p, \dots, v_f)$, характеризующие свойства внешней по отношению к ЭТС среды и оказывающие влияние на ее функционирование. К ним, например, относятся воздействия окружающей среды: температура, влажность, вибрация, радиация;
- внутренние параметры $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_p, \dots, X_n)$, характеризующие состояние комплектующих элементов ЭТС и называемые также *первичными параметрами*.

К первичным параметрам относятся как параметры самих элементов (величины сопротивлений, индуктивностей, емкостей, масс, моментов инерции, жесткостей упругих связей), так и функции от этих параметров, имеющие определенный физический (коэффициенты усиления, постоянные времени, соотношения масс);

– внутренние параметры $\mathbf{u}^v = (u_1^v, u_2^v, \dots, u_k^v, \dots, u_e^v)$, $\mathbf{Z}^v = (Z_1^v, Z_2^v, \dots, Z_g^v, \dots, Z_c^v)$, характеризующие, соответственно, сигналы на входах и выходах электротехнических устройств (ЭТУ), входящих как элементы $v = \overline{1, h}$, h — число элементов, в состав ЭТС;

– выходные параметры $\mathbf{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_p, \dots, Y_m)$, характеризующие свойства ЭТС, интересующие потребителя. Они представляют собой параметры-функционалы, т.е. функциональные зависимости фазовых переменных $\mathbf{Z} = (Z_1, Z_2, \dots, Z_g, \dots, Z_c)$ ЭТС и параметры, являющиеся граничными значениями диапазонов внешних переменных, в которых сохраняется работоспособность системы. Эти параметры, как правило, являются показателями качества, которые характеризуют правильность функционирования системы.

Среди множества внутренних параметров \mathbf{X} можно выделить подмножество целевых (определяющих) параметров $\mathbf{X}_n = (X_1, X_2, \dots, X_p, \dots, X_n)$, $n < N$, которые определяют достижение поставленной цели, оказывая заметное влияние на выходные параметры системы, и подмножество настраиваемых параметров $\mathbf{X}_n = (X_1, X_2, \dots, X_p, \dots, X_q)$, $q \leq n$.

Связь выходов ЭТС с ее входами формально может быть представлена в виде уравнения

$$\mathbf{Y} = F(\mathbf{X}, \mathbf{u}, \mathbf{V}, t),$$

где F — оператор связи.

По виду оператора F все ЭТС можно разделить на непрерывные и дискретные, линейные и нелинейные, стационарные и нестационарные, детерминированные и стохастические, с сосредоточенными и распределенными параметрами. Математические модели ЭТС являются основой для решения важнейших задач анализа и синтеза [3], [10], [12] – [14].

Объектами водного транспорта (ОВТ) являются разнообразные виды судов и кораблей, включая пассажирские суда, суда технического флота, плавучие краны, гидротехнические сооружения, среди которых, прежде всего, следует выделить шлюзы, морские и речные порты, судоремонтные и судостроительные заводы и т. д.

ЭТС ОВТ характеризуются большим разнообразием как по функциональному назначению, так и по конструкторскому исполнению. Объединяющим началом для этих систем являются условия их эксплуатации (высокая влажность, вибрация, автономность работы) и повышенные требования к уровню надежности [15].

ЭТС ОВТ в большинстве случаев можно рассматривать как системы автоматического управления (САУ) или как элементы САУ, выполняющие функцию автоматического управляющего устройства (АУУ). Под САУ, как известно, понимается система, состоящая из объекта управления ОУ и АУУ, взаимодействующие между собой, целевой функцией которой является функция управления.

В ЭТС, рассматриваемых как САУ, объектом управления достаточно часто являются электрические машины — генераторы, преобразующие энергию одного вида, как правило, механическую, в электрическую энергию, и электромеханические преобразователи (электродвигатели), преобразующие электрическую энергию в механическую. К их числу относятся, например, САУ генерированием электроэнергии в системе электроснабжения судна, а также основные потребители электрической энергии — автоматизированные электроприводы. В автоматизированных электроприводах как САУ объектом управления может быть не только электромеханический преобразователь, но и рабочая машина. При этом ЭТС выполняет функцию АУУ, включающего в свой состав силовые преобразовательные элементы и систему управления электропривода, которая в общем случае состоит из совокупности управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения электропривода, предназначенных для управления электромеханическим преобразованием энергии с целью обеспечения заданного движения исполнительного органа рабочей машины. Классификация ЭТС как систем автоматического управления с позиций функционально-структурного подхода к их анализу рассматривается в работе [10].

Электромеханические системы занимают центральное место в подавляющем большинстве ЭТС ОВТ. Основная определяющая их функция — преобразование электрической энергии в управляемую механическую энергию, т. е. они обеспечивают возможность регулирования параметров механического движения объектов управления (скорость, ускорение, угловое или линейное перемещение, сила, момент и др.). Как правило, данная функция должна выполняться автоматически.

Под электромеханической системой (ЭМС) будем понимать совокупность взаимодействующих элементов, осуществляющих взаимное преобразование механической и электрической энергий, которые обеспечивают заданную цель и качество процесса преобразования [10].

В зависимости от цели преобразования энергии и состава элементов ЭМС можно разделить на следующие группы:

- источники электроэнергии, т. е. системы, преобразующие механическую энергию в электрическую для использования последней в промышленных целях и управляющие этим процессом;
- электроприводы, т. е. системы, преобразующие электрическую энергию в механическую с целью приведения в движение исполнительных органов рабочих машин и управляющие этим движением;
- двигатель-генераторные системы, осуществляющие преобразование электрической энергии в механическую и механической энергии в электрическую (электромеханические источники вторичного электропитания, стартер-генераторные системы и т. д.).

ЭМС составляют основу единого энергетического процесса производства, распределения и использования электрической энергии.

В заключение, с позиций системного подхода и на основании ГОСТ Р 50369–92 «Электроприводы. Термины и определения» составим и рассмотрим структурную схему электропривода [14], который занимает ключевое место среди ЭТС. Структурная схема электропривода (с. ...), включает следующие основные элементы:

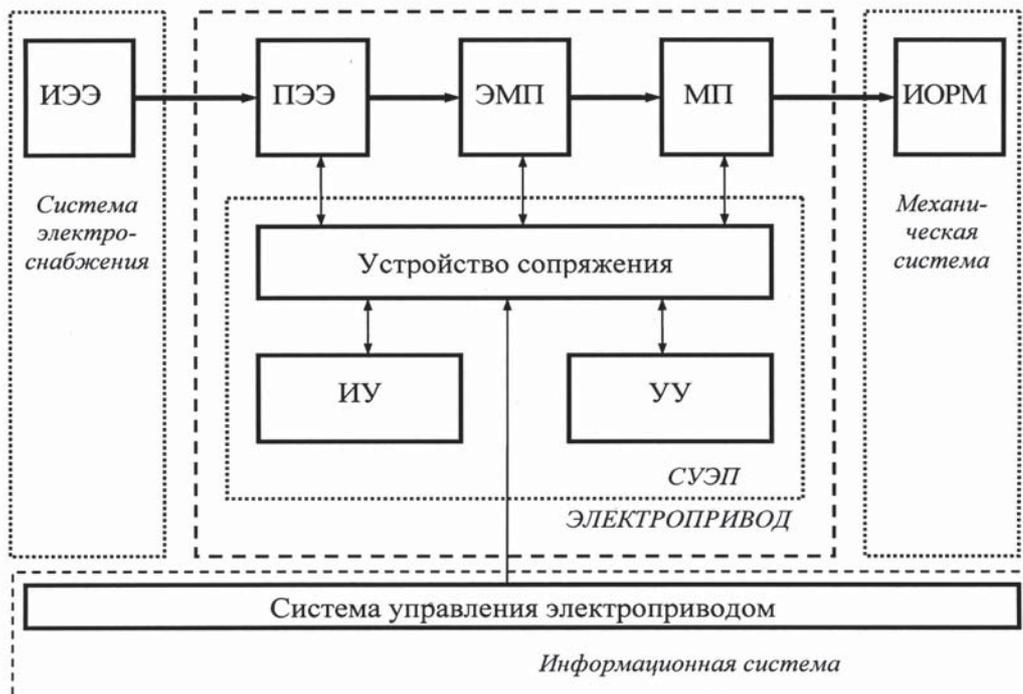
ПЭЭ — преобразователь электрической энергии, под которым понимается электротехническое устройство, преобразующее электрическую энергию с одним значением параметров и / или показателей качества в электрическую энергию с другим значением параметров и / или показателей качества (преобразование по роду тока, напряжению, частоте, числу фаз, фазе напряжения);

ЭМП — электромеханический преобразователь (электродвигатель), предназначенный для преобразования электрической энергии в механическую (в некоторых режимах работы электропривода — для обратного преобразования энергии);

МП — механический преобразователь (механическая передача), предназначенный для передачи механической энергии от электродвигателя к исполнительному органу рабочей машины (ИОРМ) и согласованию вида и скоростей их движения;

УУ — управляющее устройство, представляющее собой совокупность элементов и устройств, предназначенное для формирования управляющих воздействий в электроприводе;

ИУ — информационное устройство, предназначенное для получения, преобразования, хранения, распределения и выдачи информации о переменных электропривода, технологического процесса и сопредельных систем.



Структурная схема электропривода

Устройство сопряжения — это совокупность электрических и механических элементов, обеспечивающих взаимодействие электропривода с сопредельными системами и отдельных частей электропривода.

Основу информационного устройства и устройства сопряжения составляет измерительно-преобразовательное устройство, в состав которого могут входить тахогенераторы, измерители положения, датчики тока и напряжения, цифроаналоговые или аналогово-цифровые преобразователи.

ИЭЭ — источник электрической энергии.

ИОРМ — исполнительный орган рабочей машины, под которой понимается система механизмов (движущийся элемент рабочей машины), осуществляющих механические движения, связанные с выполнением рабочего процесса.

СУЭП — система управления электропривода — совокупность управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения электропривода, предназначенных для управления электромеханическим преобразователем энергии с целью обеспечения заданного движения ИОРМ;

Система управления электроприводом — высшая по отношению к электроприводу система управления более высокого уровня, поставляющая необходимую для функционирования электропривода информацию. Жирными стрелками на схеме показан канал передачи силовой энергии, тонкими — управляющие каналы передачи информации. Основными выходными координатами электропривода являются электромагнитный и механический моменты, механическая сила, электрический ток, мощность, угловая и линейная скорости, магнитный поток, угловой и линейный путь, ускорение, положение вращающегося вала. Анализ структурной схемы показывает, что электропривод является достаточно сложной ЭМС, причем, например, СУЭП, входящая в его состав, может рассматриваться как отдельная самостоятельная ЭТС.

Рассмотренный в работе морфологический анализ категории «электротехническая система» позволил не только определить это понятие, но и раскрыть его сущность. Установлено, что для ОВТ ЭТС в большинстве случаев можно рассматривать как САУ или АУУ. При этом особенностью этих систем являются изменчивые условия эксплуатации и повышенные требования к показателям надежности. Важным классом ЭТС являются ЭМС. На примере электропривода рассмотрен системный подход к составлению структурных схем конкретных ЭТС.

Список литературы

1. Калинин И. М. Судовые электротехнические комплексы. Термины и определения / И. М. Калинин, Б. А. Балабанов // Морской вестник. — 2013. — № 25 (11). — С. 26–30.
2. Брейдо И. В. Классификационные признаки систем управления электротехническими комплексами и системами / И. В. Брейдо, П. И. Сагитов, Б. Н. Фешин // Тр. Карагандинского гос. техн. ун-та. — 2002. — Вып. 1. — С. 55–57.
3. Саушев А. В. Области работоспособности электротехнических систем / А. В. Саушев. — СПб.: Политехника, 2013. — 412 с.
4. ГОСТ 18311.80. Изделия электротехнические. Термины и определения основных понятий. — М., 1981.
5. ГОСТ 2.503–2013. Единая система конструкторской документации. Правила внесения изменений.
6. ГОСТ 15898–77. Статистические методы управления качеством продукции. Термины и определения.
7. МЭК 50(151)–78. Стандарт Международной электротехнической комиссии. Электрические и магнитные устройства.
8. ГОСТ Р 53314–2009. Электронные изделия. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний.
9. ГОСТ 34.003–90. Автоматизированные системы. Термины и определения.
10. Саушев А. В. Методы управления состоянием электротехнических систем объектов водного транспорта / А. В. Саушев. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2014. — 215 с.
11. Саушев А. В. Теоретические основы управления состоянием электротехнических систем / А. В. Саушев // Журнал университета водных коммуникаций. — 2010. — № 3. — С. 134–146.
12. Юрков Н. К. Системный подход к организации жизненного цикла сложных технических систем / Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. — 2013. — № 1. — С. 27–34.

13. Саушев А. В. Параметрический синтез электротехнических устройств и систем / А. В. Саушев. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2013. — 315 с.
14. Саушев А. В. Математическое описание механической системы электропривода / А. В. Саушев. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2008. — 216 с.
15. Кузнецов С. Е. Техническая эксплуатация судового электрооборудования: учебно-справочное пособие / С. Е. Кузнецов. — М.: Проспект, 2010. — 512 с.

УДК 621.314

А. В. Григорьев,
канд. техн. наук, доц.

В. Ю. Колесниченко,
асп.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНОГО ДИЗЕЛЬГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА

COMPUTER SIMULATION OF THE RECTIFIER DIESEL GENERATOR SET

Рассмотрена компьютерная модель вентильного ДГА, работающего с переменной частотой вращения. На компьютерной модели проведены экспериментальные исследования переходных процессов при работе ДГА с переменной и постоянной частотой вращения. Работа ДГА с переменной частотой вращения при изменении нагрузки позволяет снизить расход топлива вспомогательного дизеля. Показано, что при использовании полупроводниковых преобразователей частота электрического тока в судовой сети может поддерживаться постоянной при изменении частоты вращения вспомогательного дизеля.

Experience has shown that marine diesel generator sets operate at a constant speed in a wide range of load, which increases the consumption of fuel and oil. To improve the efficiency of DHA is advisable to adjust the frequency when the load changes. Given a computer model of the rectifier diesel generator set (DGS), working with variable speed. Computer model is showing experimental studies of transient process during working of DGS with variable and constant speed. Work of DGS with variable speed during load changing is giving possibility to reduce fuel oil consumption of auxiliary diesel-generator. It is shown, that during using of semiconductor converter the current frequency of the ship power system can be maintained on constant value even in case of changing of rotation speed of auxiliary diesel-generator.

Ключевые слова: компьютерная модель, экспериментальные исследования, дизель-генераторный агрегат, полупроводниковый преобразователь, синхронный генератор, нагрузка, частота, инвертер, выпрямитель.

Key words: computer model, experimental studies, diesel-generator set, semiconductor converter, synchronous generator, load, frequency, inverter, rectifier.

С

УДОВЫЕ дизель-генераторные агрегаты (ДГА) работают с постоянной частотой вращения, что позволяет поддерживать в судовой сети постоянство частоты электрического тока, вырабатываемого синхронными генераторами.

Опыт эксплуатации показывает, что нагрузка в судовой сети меняется в широком диапазоне. В связи с этим большую часть времени ДГА работают с долевой нагрузкой, что повышает расход горюче-смазочных материалов приводного дизеля и повышает вероятность возникновения отказов [1]–[5].

Повысить экономичность и надежность работы судовых ДГА можно путем регулирования частоты вращения приводного дизеля в функции нагрузки. В этом случае для стабилизации ча-

стоты тока в судовой сети необходимо дополнительно использовать полупроводниковые преобразователи частоты (ПП), подключаемые к фазным обмоткам генератора [6]–[10].

Для анализа возможности работы ДГА с переменной частотой вращения вала двигателя при изменяющейся нагрузке в программной среде MatLab (приложение Simulink) созданы компьютерные модели традиционного и вентильного ДГА.

На рис. 1 представлена компьютерная модель традиционного ДГА, работающего с переменной частотой вращения в функции изменения нагрузки.

В связи с особенностью построения моделей в пакете MatLab, для реализации режима холостого хода генератора требуется подключение небольшой нагрузки, равной 0,01 % от номинальной мощности генератора [11].

Компьютерная модель ДГА включает:

- 1) приводной двигатель ДГА (вспомогательный дизель) вместе с системой регулирования частоты вращения;
- 2) синхронный генератор мощностью 1075 кВА;
- 3) систему возбуждения и регулирования напряжения синхронного генератора;
- 4) блок активной нагрузки мощностью 90 кВт;
- 5) асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором 37 кВт (блок ASM);
- 6) трехфазные автоматические выключатели;
- 7) электроизмерительные приборы.

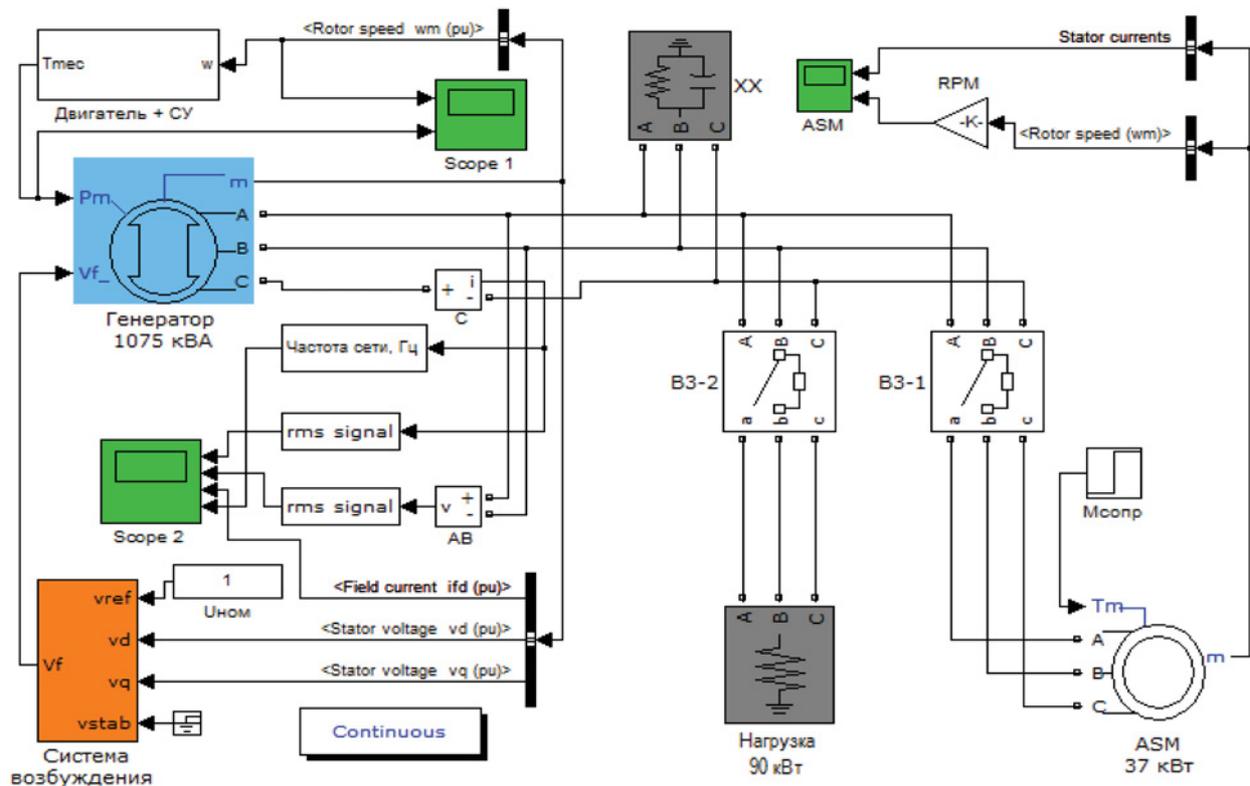


Рис. 1. Компьютерная модель ДГА

При проведении компьютерного эксперимента ДГА работает на холостом ходу, затем подключается симметричная активная нагрузки и запускается электродвигатель. В процессе проведения вычислительного эксперимента через 2 с после запуска ДГА и достижения им номинальной частоты вращения включается асинхронный двигатель с номинальным моментом сопротивления на валу (25 Н·м).

На 3-й секунде происходит подключение активной нагрузки, затем после расчета наиболее экономичного режима работы система управления приводным двигателем генератора снижает подачу топлива на 15 %. На 5-й секунде блок активной нагрузки отключается.

Переходные процессы, полученные при проведении компьютерного эксперимента на ДГА традиционной конструкции, приведены на рис. 2.



Рис. 2. Переходные процессы при изменении нагрузки ДГА

Необходимо отметить, что в разработанной компьютерной модели не реализована система автоматического управления частотой вращения ДГА. Разработка данной САУ является одной из основных задач при создании ДГА, работающих с переменной частотой вращения вала приводного двигателя. В рассматриваемой модели уменьшение подачи топлива имитируется изменением вращающего момента генератора с помощью блока «Step», входящего в состав блока «Двигатель + СУ».

На рис. 3 приведены переходные процессы ДГА при изменении нагрузки и частоты в виде осциллограмм тока, напряжения генератора, тока возбуждения и частоты сети. Как видно, при снижении подачи топлива частота вырабатываемой электроэнергии снижается с 60 Гц до 51 Гц, уменьшаются значения напряжения и тока, снижается частота вращения асинхронного двигателя, увеличивается ток нагрузки.

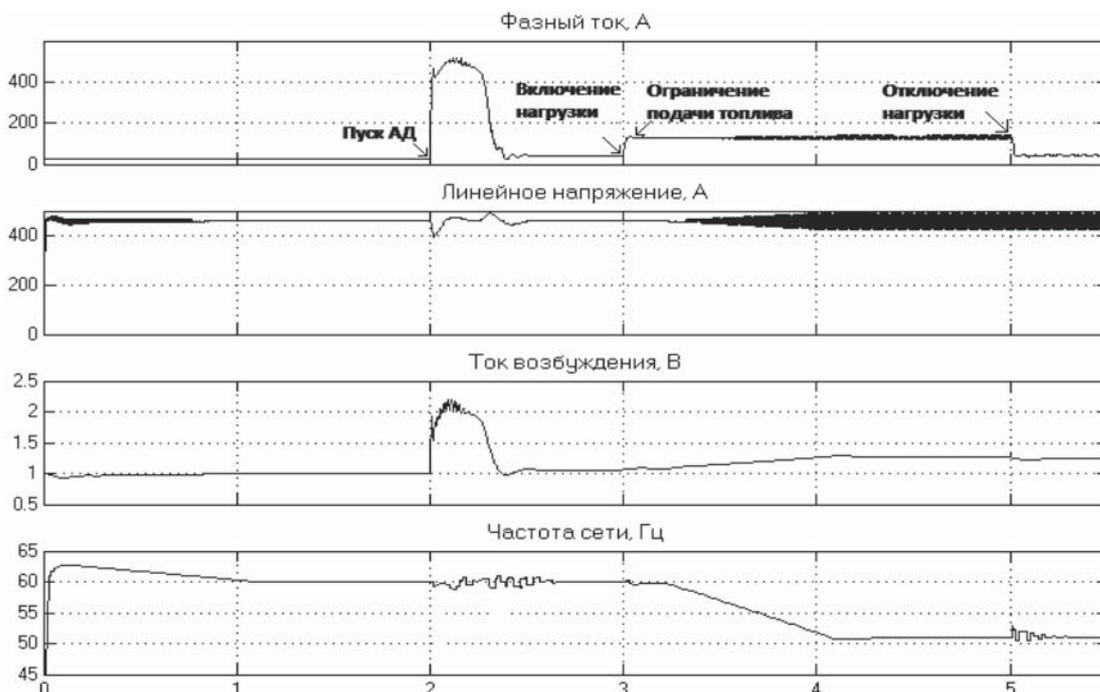


Рис. 3. Переходные процессы в синхронном генераторе при изменении нагрузки и частоты вращения ДГА

На рис. 4 приведены переходные процессы электропривода при изменении частоты вращения ДГА в виде тока нагрузки и частоты вращения (об./мин) асинхронного электродвигателя.

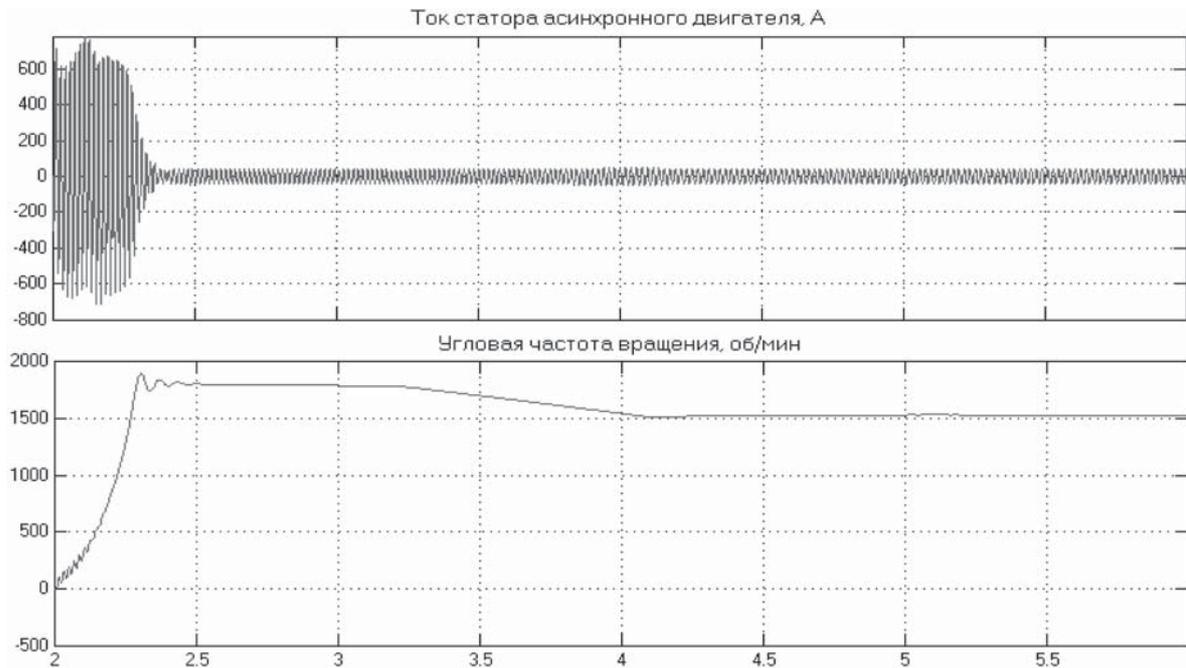


Рис. 4. Переходные процессы в электроприводе при изменении частоты вращения ДГА

Из рис. 2–4 видно, что при изменении нагрузки ДГА и регулировании его частоты вращения в широком диапазоне меняется частота тока в судовой сети, что негативно сказывается на работе судового электропривода. Для стабилизации частоты вырабатываемой электроэнергии необходимо применять полупроводниковые преобразователи частоты [12]–[15].

Компьютерная модель вентильного ДГА с ПП представлена на рис. 5, она включает ПП со звеном постоянного тока, который состоит из управляемого выпрямителя и автономного инвертора.

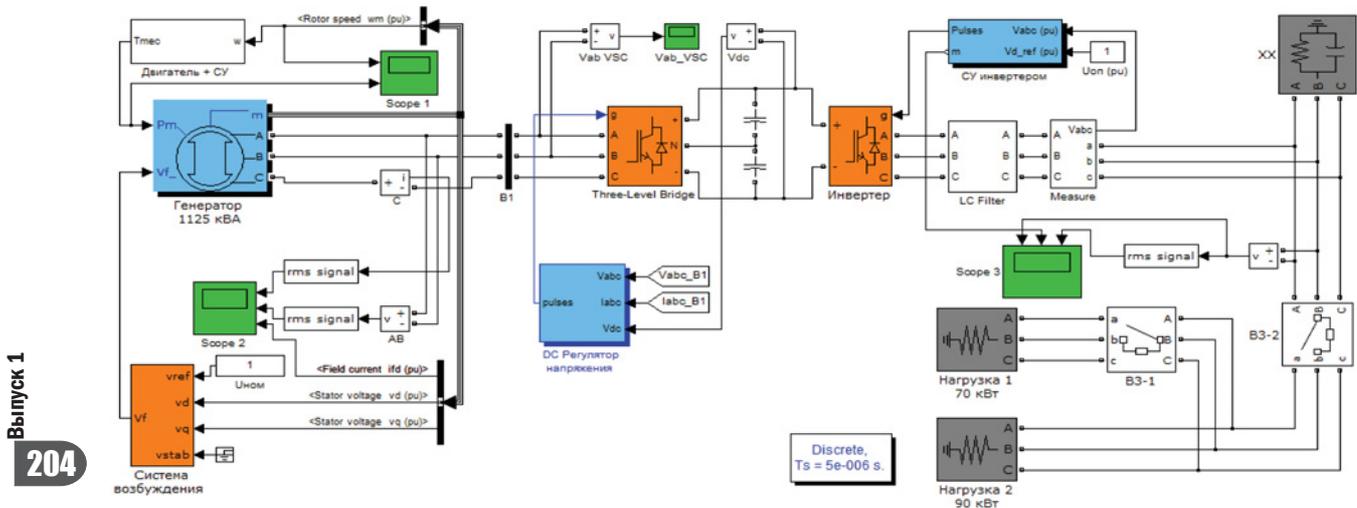


Рис. 5. Компьютерная реализация вентильного ДГА

Схематически вентильный ДГА представлен на рис. 6.

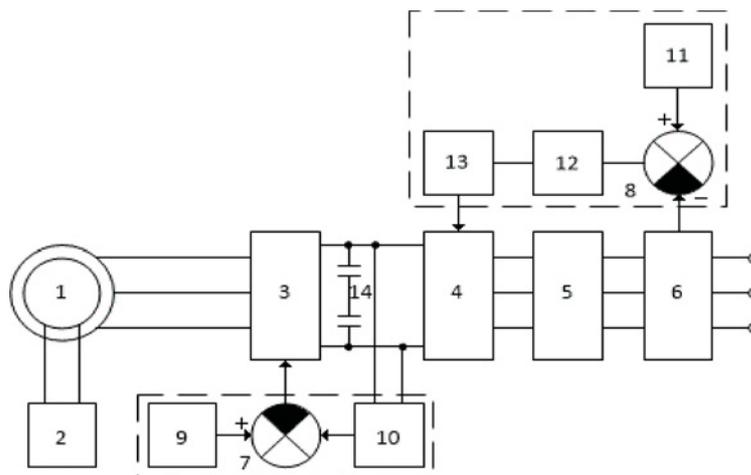


Рис. 6. Функциональная схема вентильного ДГА:

- 1 — синхронный генератор; 2 — система возбуждения; 3 — управляемый выпрямитель;
4 — автономный инвертер; 5 — LC фильтр; 6 — блок измерения напряжений;
7 — система управления выпрямителем; 8 — система управления инвертером;
9 — блок задания постоянного напряжения; 10 — датчик напряжения; 11 — блок задания напряжения;
12 — регулятор напряжения; 13 — блок формирования управляющих сигналов с ШИМ;
14 — конденсаторные батареи

На компьютерной модели проведены вычислительные эксперименты, позволяющие подтвердить возможность поддержания частоты в судовой сети с помощью ПП при изменении частоты вращения вентильного ДГА.

Поддержание постоянной величины напряжения в звене постоянного тока преобразователя частоты обеспечивается системой управления выпрямителем (блок 7), состоящего из DC-регулятора. Стабилизация амплитудного значения переменного напряжения на выходе ПП происходит благодаря системе управления инвертером регулятора напряжения 12, представляющего собой ПИ регулятор, использующий ABC — dq и dq — ABC-преобразования.

На рис. 7 показаны графики переходных процессов при работе вентильного ДГА с переменной частотой вращения, полученные при проведении вычислительного эксперимента.

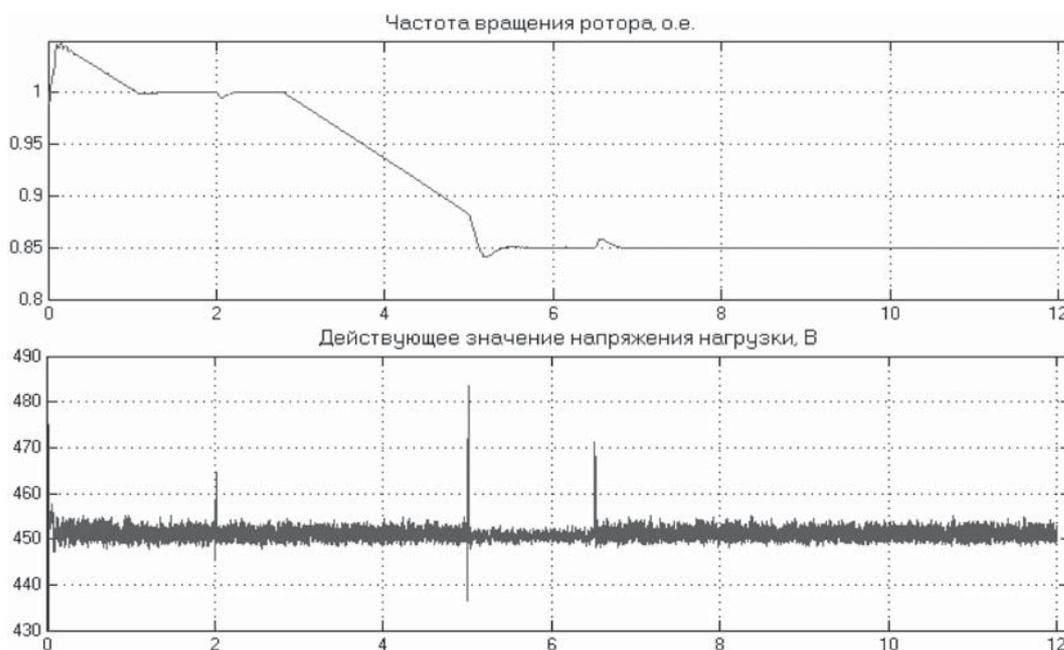


Рис. 7. Переходные процессы при работе вентильного ДГА с переменной частотой вращения

В ходе компьютерного эксперимента через 2 с после достижения ДГА номинальных оборотов происходит включение нагрузки 1 (70 кВт), затем уменьшается подача топлива и на 5 с включается статическая нагрузка 2 (90 кВт), затем на 6,5 с происходит отключение статической нагрузки 2.

Из рис. 7 видно, что в момент подключения приемника электроэнергии «провал» напряжения составляет 12 В, время восстановления значительно меньше одной секунды.

На рис. 8 представлены мгновенные и действующие значения напряжения в судовой сети.

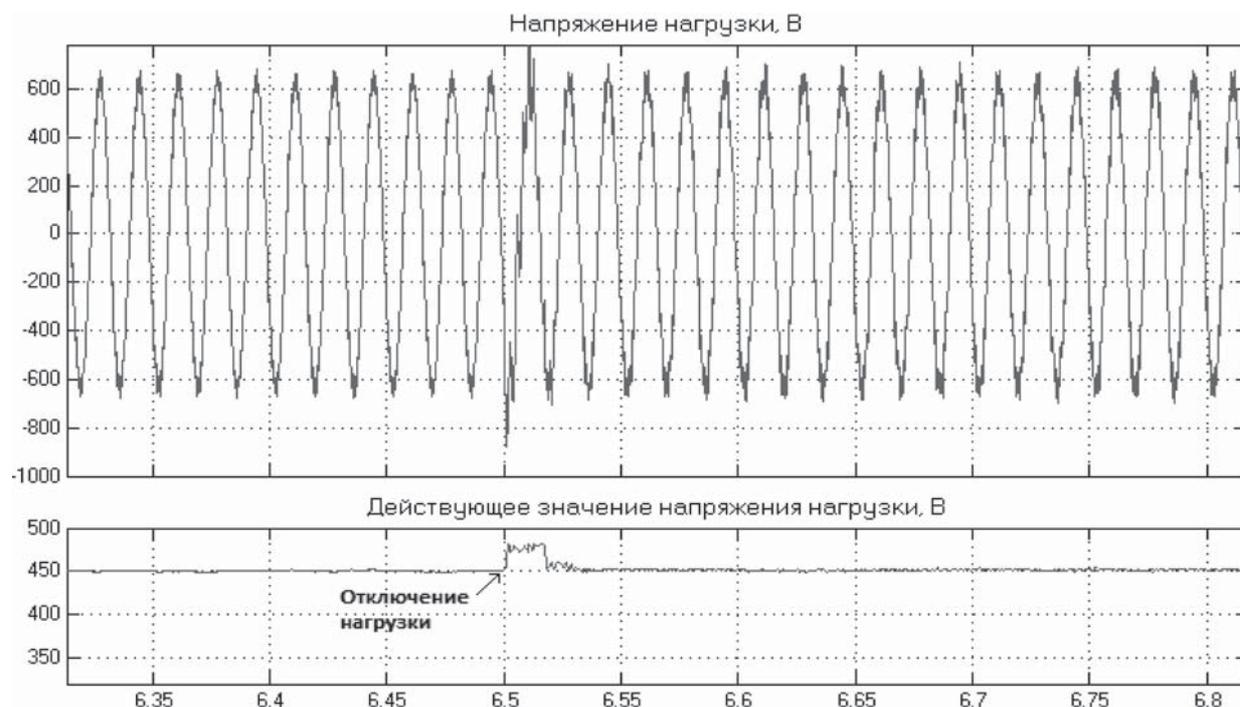


Рис. 8. Значения напряжения в судовой сети — мгновенное и действующее

Видно, что при изменении частоты вращения вентильного ДГА в судовой сети с помощью ПП поддерживается постоянное значение напряжения.

В результате компьютерного моделирования и проведенных вычислительных экспериментов можно сделать вывод, что за счет применения ПП возможно добиться стабилизации параметров генерируемой электроэнергии при изменяющейся частоте вращения ДГА в функции нагрузки, что позволит значительно повысить экономичность работы вспомогательных дизелей.

Список литературы

1. Петухов В. А. Работа вспомогательных ДГА / В. А. Петухов, А. В. Григорьев // Морской флот. — 1998. — № 2. — С. 22.
2. Петухов В. А. Совершенствование эксплуатационных режимов судовых дизель-генераторных агрегатов / В. А. Петухов, А. П. Баранов, А. В. Григорьев // Zeszyty naukowe NR 68, Сборник рецензированный. ISSN 0209-2069.» Obsługiwanie maszyn i urzadzen okrentowych» («Обслуживание двигателей и судовых технических средств»), Typografia i sklad – Dzial Wydawnictw Wyzszej Szkoły Morskiej, Szczecin, 2003. — С. 359–366.

3. Баранов А. П. Применение математического моделирования для исследования переходных процессов в судовых электроэнергетических системах / А. П. Баранов, А. В. Григорьев, В., Г. А. Новоселов // Пятая междунар. конф. и выставка по морским интеллектуальным технологиям «Моринтех – 2003»: материалы конференции (сб. докладов). — СПб.: Изд. НИЦ «Моринтех», 2003. — С. 281–285.

4. Баранов А. П. Исследование переходных процессов в судовой электроэнергетической системе на математической модели / А. П. Баранов, А. В. Григорьев // Эксплуатация морского транспорта. — СПб.: Наука, 2003. — С. 268–280.

5. Петухов В. А. Анализ и оптимизация эксплуатационных режимов судовых дизель-генераторов / В. А. Петухов, А. П. Баранов, А. В. Григорьев // Эффективность работы энергетических установок и технических средств: междунар. сб. науч. тр. — Калининград: Изд. КГТУ, 2003. — С. 98–105.

6. Григорьев А. В. Компьютерное моделирование судовых электроэнергетических систем / А. В. Григорьев // Труды 5-й Междунар. науч.-техн. конф. «Компьютерное моделирование 2004». Ч. 1. — СПб.: Изд-во «Нестор», 2004. — С. 177–183.

7. Григорьев А. В. К вопросу о повышении экономичности судовых и корабельных ДГА / А. В. Григорьев // Сб. тр. науч.-практ. семинара по вопросам создания, боевой и повседневной эксплуатации электроэнергетики кораблей ВМФ, В 95047. — СПб.: ВМА им. адм. Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова, 2004. — С. 40–43.

8. Григорьев А. В. Применение пакета MatLab при моделировании и исследовании электроэнергетических систем / А. В. Григорьев // Труды 3-й Межвузовской конф. по науч. программному обеспечению «Практика применения научного программного обеспечения в образовании и научных исследований». — СПб.: Нестор, 2005. — С. 42–47.

9. Григорьев А. В. Оптимальная регулировочная характеристика дизель-генераторного агрегата / А. В. Григорьев // Электросистемы. — 2006. — № 1 (13). — С. 23–25.

10. Григорьев А. В. Компьютерная модель судового дизель-генераторного агрегата / А. В. Григорьев // Эксплуатация морского транспорта: сб. науч. тр.— СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2006.— Вып. 45. — С. 294–302.

11. Григорьев А. В. Из опыта моделирования электроэнергетических систем в среде Simulink / А. В. Григорьев, Е. А. Глеклер. // Труды межвуз. конф. по науч. программному обеспечению «Практика применения научного программного обеспечения в образовании и исследованиях». — СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2007. — С. 79–82.

12. Григорьев А. В. Опыт применения пакета визуального моделирования Simulink при проектировании судовых электроэнергетических систем / А. В. Григорьев, Е. А. Глеклер, Д. И. Улитовский. // Компьютерное моделирование 2008: тр. междунар. науч.-техн. конф. — СПб.: Изд-во Политехн. университета, 2008. — С. 89–92.

13. Григорьев А. В. Моделирование дизельгенераторных агрегатов с использованием результатов экспериментальных исследований / А. В. Григорьев, Е. А. Глеклер, Д. И. Улитовский // Компьютерное моделирование 2009: тр. междунар. науч.-техн. конференции. — СПб.: Изд-во Политехн. университета, 2009. — С. 109–113.

14. Григорьев А. В. Анализ возможности и целесообразности применения систем электродвижения на судах вспомогательного флота / А. В. Григорьев, Р. Р. Зайнуллин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 5 (27). — С. 40–46.

15. Григорьев А. В. Повышение эффективности эксплуатации судовых дизельных электростанций / А. В. Григорьев, В. Ю. Колесниченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 6(28). — С. 39–43.

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ СУДОВЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

APPLICATION OF SPECIAL DESIGN ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR FOR THE SHIP VENTILATION SYSTEM

В статье рассмотрен вариант применения специального асинхронного двигателя в системах судовой вентиляции. Описана возможная конструкция двигателя. Приведены основные преимущества применения специального асинхронного двигателя по сравнению с традиционным электродвигателем, а именно: многофункциональность, улучшенные энергетические характеристики и оптимальные массогабаритные свойства. Также поставлена задача по разработке математической модели методами математической теории планирования эксперимента. Представленный метод позволяет упростить сложное описание простой полиномиальной моделью. Разработан план вывода уравнений тока и электромагнитного момента специального асинхронного двигателя. Для решения задач по оценке зависимостей основных характеристик от параметров предлагается использовать современные методы моделирования на персональном компьютере. Также в статье акцентировано внимание на необходимости разработки инженерной методике расчета специального асинхронного двигателя, на основе которой появится возможность построения работоспособной модели двигателя.

The article examines application of special design asynchronous motor for the ship ventilation system. It is described possible motor construction. And it is the main advantages of application of special design asynchronous motor compared to the conventional electric motor. These include multifunctionality, improved power characteristics and optimum weight and size properties. It is also tasked to develop mathematical model by means of the mathematical theory methods of experiment planning. The presented method allows to substituted complex description for a simple polynomial model. The derivation of an equation plane of special design asynchronous motor current and electromagnetic torque developed. It is planned to use modern PC modeling methods to solve problem of general features dependencies comparison with parameters. It is also noticed that it is important to developed engineering method of special design asynchronous motor calculating. It is formed a possibility to construct functional motor model for reasons given.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, вентиляционная система, судовая вентиляция, математическая модель, планирование эксперимента, моделирование, инженерная методика.

Key words: asynchronous electric motor, ventilation system, ship ventilation, mathematical model, experiment planning, modeling, engineering method.

В НАСТОЯЩЕЕ время проводятся исследования в области применения специального асинхронного двигателя (АД) для судовых вентиляционных систем, в частности в коаксиальных системах вентиляции, а также в системах судовых водометных движителей. Использование сдвоенного АД для судовой вентиляции позволяет уменьшить массогабаритные показатели действующих систем, и также улучшить показатели надежности и живучести вентиляционного устройства и судна в целом. Внедрение в современные системы вентиляции специального АД может внести ощутимый вклад в их эффективность, что играет ключевую роль в жизнеобеспечении экипажа судов. По сравнению с традиционным электродвигателем сдвоенный АД дает возможность многофункционального использования вентиляционного устройства, так как подобная конструкция позволяет реализовать различные режимы работы. Двигатель выполнен сдвоенным, содержащим два статора и два ротора: внутренний и наружный, магнитные системы которых обращены друг к другу, что позволяет реализовать в системе два вентиляционных кана-

ла: наружный кольцевой и внутренний. Применение такого АД в коаксиальных системах вентиляции позволяет реализовать такие режимы работы, как работа наружного кольцевого контура на приток, а внутреннего — на вытяжку и наоборот: либо работа обоими каналами только на приток, либо только на вытяжку и т.д.

Конструкция сдвоенного электровентилятора для систем замкнутой вентиляции обеспечивает достаточно высокие энергетические характеристики, такие как коэффициент полезного действия (КПД) и коэффициент мощности [1]. Применение такого устройства позволяет реализовать несколько режимов работы: вентиляцию, регенерацию и обогащение воздуха, что не может обеспечить ни одна из известных систем. Конструкция специального АД для вентиляционных систем включает два статора, пластины активного железа которых собраны на внутренней и внешней сторонах гильзы. Чертеж продольного и поперечного разреза двигателя приведен на рисунке.

Пластины активного железа статоров – наружного *19* и внутреннего *16*, собраны на внутренней и внешней стороне гильзы *20*. В пазах статоров *19* и *16* уложены трехфазные распределенные обмотки. Внутренний ротор *6* выполнен в виде полого барабана, в который впрессованы пластины активного железа и короткозамкнутая обмотка типа «беличья клетка». Наружный ротор *12* обращенной конструкции выполнен аналогично внутреннему. Внутренняя поверхность внутреннего ротора используется как рабочая, т. е. снабжена крыльчаткой *7* и поэтому образует внутренний канал *5*. Наружная поверхность наружного ротора также снабжена крыльчаткой *11* и поэтому вместе с корпусом *1* образует наружный кольцевой канал *13* вентиляции.

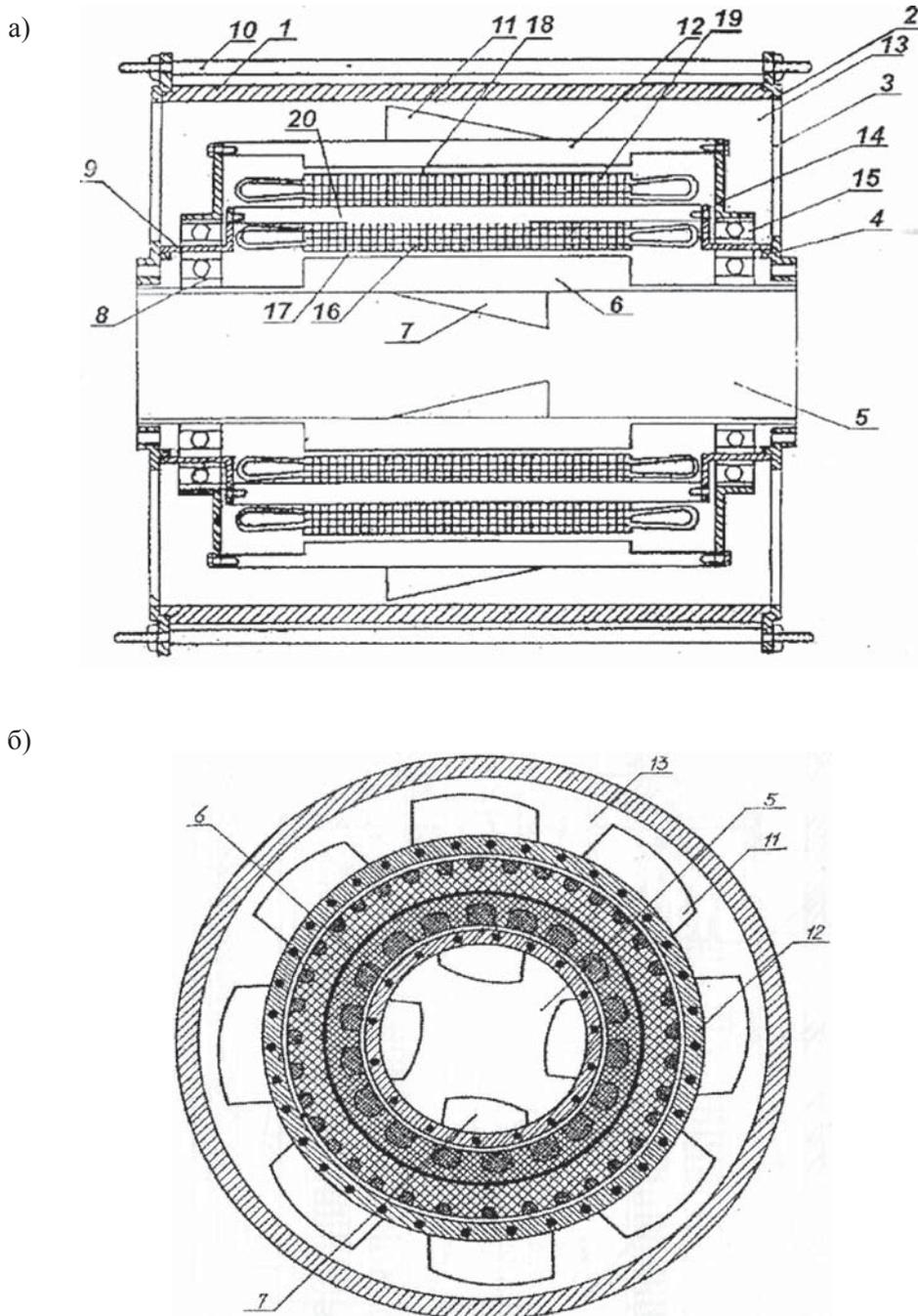
Для распределения ходовой части вентилятора применено жесткое крепление наружных *15* и внутренних *8* подшипников в гильзе *20*, которая, в свою очередь, с помощью фасок *4* жестко скрепляется с передней и задней крышками электродвигателя, которые между собой стягиваются шпильками *10*. Подшипники запрессовываются в гильзе и на нее «один на один», образуя жесткий подшипниковый узел.

Между передним и задним подшипниковыми узлами размещаются обмотки наружного и внутреннего статоров. С целью предотвращения загрязнения торцевых частей статоров подшипники выполнены закрытыми. Гильза, на которой крепятся подшипники и оба статора, одновременно служит для уменьшения электромагнитного влияния друг на друга внутреннего и внешнего статоров, т.е. оказывает экранирующее действие и поэтому выполнена из немагнитного материала. Таким образом, гильза помимо своего основного конструктивного назначения выполняет роль экрана, или зазора между статорами. Для обеспечения работоспособности наружного кольцевого канала на передней и задней крышках электродвигателя предусмотрены окна *3*. Их количество и размеры определяют наряду с количеством, размерами и формой лопастей, а также расстоянием от поверхности наружного ротора до корпуса электродвигателя, производительность наружного кольцевого канала вентиляции [2].

Для успешного применения специального АД в системах судовой вентиляции необходимо построение работоспособного макета. В процессе изготовления опытного образца могут возникнуть трудности, связанные, например, с индукцией, оказывающей влияние на расположенные на внутренней и внешней стороне гильзы статорные обмотки [3], [4]. Для учета влияния подобных факторов необходимо построение математической модели, определение зависимостей основных характеристик АД от его параметров, что позволяет выявить области оптимальных значений характеристик и обосновать методику инженерного расчета и проектирования, учитывающую особенности данного АД.

Для выявления и изучения основных закономерностей электромагнитных процессов специального АД с целью создания работоспособной методики его проектирования необходимо иметь математическую модель, в которой выходные показатели непосредственно связаны с его параметрами. Использование первоначально созданных уравнений равновесия напряжения электрических контуров, уравнений токов обмоток статора и ротора, а также электрического момента представляется затруднительным ввиду сложности и громоздкости. В данном случае целесообразным будет за-

менить сложную математическую модель более простым, легко поддающимся анализу описанием, имеющим достаточно высокую точность аппроксимации. Для решения этой задачи большие возможности представляют исследователю методы математической теории планирования эксперимента, которые позволяют сложное математическое описание аппроксимировать достаточно простой полиномиальной моделью, позволяющей решать аналитические и оптимизационные задачи [5], [6]. Исходя из этого возникает необходимость решения следующих основных задач.



Продольный (а) и поперечный (б) разрез специального асинхронного двигателя

1. Вывод уравнений для тока и электромагнитного момента специального АД. В связи с тем, что конструкцией двигателя предусмотрено два статора, возникает необходимость учета взаимной индукции статорных обмоток, на которую, в свою очередь, может оказывать влияние величина

на индукции обмоток, их взаимное расположение и магнитная проницаемость гильзы [1]. Кроме того, для повышения точности расчета характеристик специального АД при выводе выражений необходимо учитывать потери в стали, оказывающие значительное влияние на электромагнитные процессы в двигателе.

2. *Применение современных методов моделирования с использованием ПК для оценки зависимостей основных характеристик от параметров.* Широкие возможности для этого дает комплекс программ математического моделирования MATLAB. Данное программное обеспечение предоставляет удобные средства для разработки алгоритма решения основных уравнений специального АД. Также в составе пакета MATLAB имеется большое количество функций для построения графиков.

3. *Сложное математическое описание электромагнитных процессов посредством использования методов математической теории планирования эксперимента.* Описание представляется полиномиальными зависимостями, непосредственно связывающими основные характеристики двигателя с его параметрами, которые впоследствии могут быть исследованы на оптимум. Кроме того, по результатам анализа математической модели специального АД методами планирования эксперимента возможно номографирование.

4. *Разработка инженерной методики расчета и проектирования специального АД, учитывающей результаты исследования с помощью метода планирования эксперимента, наряду с учетом конструкции данного электродвигателя.* В составе методики целесообразно использовать алгоритм проектирования двигателя, позволяющий производить предварительную оценку значений основных характеристик по полиномам и произвести оптимизацию по его относительным параметрам. Для возможности практического применения разработанной методики необходимо привести расчет АД.

5. *Построение макета и опытного образца специального АД для анализа точности полученных теоретических результатов и работоспособности методики проектирования.* Эти действия позволяют выполнить сравнение данных математического моделирования с данными экспериментальных исследований.

Основы теории планирования эксперимента (ПЭ) базируются на том [7], что результаты любых опытов в n -мерном факторном пространстве могут быть представлены линеализованными уравнениями вида:

$$\begin{cases} y_i = x_{0_i} b_0 + x_{1_i} b_1 + x_{2_i} b_2 + x_{k_i} b_k + \dots + \\ y_i = x_{0_{(i+1)}} b_0 + x_{1_{(i+1)}} b_1 + x_{2_{(i+1)}} b_2 + x_{k_{(i+1)}} b_k + \dots + \end{cases} \quad (1)$$

где y — функция цели (отклика); x — влияющие факторы; b — коэффициенты уравнения.

Результаты опытов в математической форме имеют вид:

$$\bar{Y} = \bar{X}\bar{B}, \quad (2)$$

где \bar{Y} — вектор-столбец наблюдений; \bar{X} — информационная матрица; \bar{B} — вектор-столбец коэффициентов.

$$\bar{B} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\bar{Y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} x_{01} & x_{11} & \cdots & x_{k1} \\ x_{02} & x_{12} & \cdots & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{0n} & x_{1n} & \cdots & x_{kn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Получение матрицы \bar{B} , т.е. определение коэффициентов полинома, связано с транспонированием и обращением информационной матрицы \bar{X} . Конечное выражение для \bar{B} имеет вид:

$$\bar{B} = \bar{C}^{-1} \bar{X}_t \bar{Y}; \quad (6)$$

$$\bar{C} = \bar{X}_t \bar{X}, \quad (7)$$

где \bar{C}^{-1} — обратная матрица по отношению к выражению (7); \bar{X}_t — транспонированная матрица.

Специальное построение информационной матрицы \bar{X}_t и есть планирование эксперимента. От того, как построена матрица \bar{X} , зависит вид планирования и расчетные формулы для определения коэффициентов полиномов и дисперсии их определения. В зависимости от специфики задачи, решаемой с помощью ПЭ, выбирают тот или иной вид планирования.

Для построения линейных и неполных квадратичных моделей предполагается использовать планы факторных экспериментов, обладающие ортогональностью. Для них матрица \bar{B} является диагональной, а матрица \bar{X} при двухуровневом варьировании факторов обладает тремя свойствами:

$$\sum_{i=1}^N X_{ij} = 0; \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{ij} X_{im} = 0; \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{ij}^2 = N, \quad (10)$$

где N — число опытов; i — номер опыта; $j, 1, m$ — номер факторов.

Представителями таких планов является полный факторный эксперимент и метод дробных реплик [8].

Для построения квадратичных моделей основное применение нашли планы на кубе и сфере, главным образом, симметричные, т.е. выполнено условие

$$\sum_{i=1}^N X_i = \sum_{i=1}^N X_i X_j = 0, \quad (11)$$

однако
$$\sum_{i=1}^N X_i^2 \neq N. \quad (12)$$

Матрица \bar{B} -планов для построения квадратичных моделей в общем случае недиагональна. Однако для симметричных планов ее можно представить как блочно-диагональную:

$$\bar{B} = \begin{bmatrix} B_1 & 0 \\ 0 & B_2 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Подматрица \bar{B}_1 , содержит диагональные элементы T_1 и T_{11} , необходимые для оценки свободного члена b_0 и квадратичных эффектов b_{ii} , а также внедиагональные элементы T_2 и T_3 , определяющие ковариацию между этими эффектами:

$$\bar{X} = \left[\begin{array}{cccc} x_{01} & x_{11} & \cdots & x_{k1} \\ x_{02} & x_{12} & \cdots & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{0n} & x_{1n} & \cdots & x_{kn} \end{array} \right] \left. \begin{array}{l} \} \text{— для оценки } b_0; \\ \} \text{— для оценки } b_{ii}. \end{array} \right\} \quad (14)$$

Подматрица \bar{B}_2 , содержит только диагональные элементы T_3 и T_6 , необходимые для независимой оценки линейных эффектов b_i и эффектов взаимодействия b_{ij} .

$$\bar{B}_2 = \begin{bmatrix} T_3 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & T_3 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & T_3 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & T_6 \end{bmatrix} \left. \begin{array}{l} \} \text{— для оценки } b_i; \\ \} \text{— для оценки } b_{ij}. \end{array} \right\} \quad (15)$$

Блочно-диагональная структура матрицы \bar{B} позволяет получать достаточно простые формулы для расчета коэффициентов регрессии, их ошибок и ковариаций. Зависимость коэффициентов определяют с использованием критерия Стьюдента. Принято считать, что коэффициент регрессии значим, если выполнено условие

$$|b| \geq S_b t, \quad (16)$$

где S_b — дисперсия, с которой определялся коэффициент.

Адекватность получаемых полиномиальных зависимостей объектом исследования характеризуют величиной соответствия целевой функции, полученной из эксперимента y^o и рассчитанной по полиному y^p [7].

Величина, характеризующая несовпадение этих величин, называется *дисперсией неадекватности* или *дисперсией адекватности* и вычисляется по формуле

$$S_{ag}^2 = \frac{1}{N - B} \sum_{i=1}^N (y_i^o - y_i^p)^2, \quad (17)$$

где B — число значимых коэффициентов регрессии полинома.

Проверка гипотезы адекватности может проводиться с использованием критерия Фишера:

$$F = \frac{S_{ag}^2}{S_y^2}, \quad (18)$$

где S_y^2 — оценка дисперсии воспроизводимости, характеризующая точность измерений и воспроизводимость опытов.

Можно выделить три класса задач в электромеханике, в которых используется ПЭ [9], [10].

Первый класс задач наиболее близок к классической схеме ПЭ — это задачи испытания электрических машин.

Второй класс — задачи исследования методом ПЭ физических и математических моделей и аналогов или частей электрических машин, которые из-за специфики и сложности не могут использоваться непосредственно для решения задач синтеза электрических машин.

Третий класс — задачи аппроксимационного типа, когда метод позволяет заменить сложное математическое описание процесса преобразования энергии в электрических машинах простым полиномом с явной связью между переменными параметрами и показателями машин.

Данное исследование имеет большое практическое значение. Так, внедрение специального АД в системы судовой вентиляции позволит улучшить такие важные показатели системы, как массогабаритные свойства, надежность, живучесть и т.д. Также, по сравнению с использованием традиционного электродвигателя, рассмотренный АД позволяет реализовать более гибкие режимы работы. В дальнейших исследованиях планируется разработать аппроксимированную и оптимизированную математическую модель с использованием методов математической теории планирования эксперимента. Для оценки зависимостей основных характеристик от параметров целесообразно воспользоваться современными методами моделирования. В результате сложное математическое описание электромагнитных процессов представляется полиномиальными зависимостями, непосредственно связывающими основные характеристики двигателя с его параметрами. При наличии упрощенной математической модели планируется разработать инженерную методику расчета и проектирования специального АД. На основании полученных результатов

целесообразным будет построение опытного образца двигателя и получение экспериментальных данных, которые, в свою очередь, необходимо сравнить с данными математической модели. Полученные разработки могут быть применены как в современном судостроении, так и для модернизации уже существующих систем. Наряду с внедрением специального АД в системах судовой вентиляции проводятся исследования по применению двигателя как привода судовых водометных движителей. Кроме того, полученные результаты планируется использовать для подачи заявки на получение патента на изобретение.

Список литературы

1. *Каракаев А. Б.* Устройства вентиляции и кондиционирования воздуха / А. Б. Каракаев, А. Г. Рябинин, Г. А. Рябинин. — М.: Петровская академия наук и искусств, 1997. — 128 с.
2. *Каракаев А. Б.* Специальные однофазные асинхронные двигатели для корабельных систем автоматизации / А. Б. Каракаев. — СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 1999. — 220 с.
3. *Вольдек А. И.* Электрические машины / А. И. Вольдек. — М.: Энергоатомиздат, 1978. — 832 с.
4. *Каракаев А. Б.* Устройства вентиляции и кондиционирования воздуха. / А. Б. Каракаев, А. Г. Рябинин, Г. А. Рябинин. — СПб.: СПбГУВК, 1997. — 238 с.
5. *Вознесенский В. А.* Статические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский. — М.: Финансы и статистика, 1981. — 263 с.
6. *Адлер Ю. П.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. — М.: Наука, 1975. — 285 с.
7. *Саутин С. Н.* Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С. Н. Саутин. — Л.: Химия, 1975. — 48 с.
8. *Асатурян В. Н.* Теория планирования эксперимента. / В. Н. Асатурян. — М.: Радио и связь, 1983. — 148 с.
9. *Веников В. А.* Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики): учеб. пособие для электроэнергетических спец. вузов / В. А. Веников, Г. В. Веников. — М.: Электротехника, 2013. — 440 с.
10. *Ивоботенко Б. Л.* Планирование эксперимента в электромеханике / Б. Л. Ивоботенко, Н. Ф. Ильинский, Н. П. Копылов. — М.: Энергия, 1975. — 184 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

УДК 004.92

А.Ю. Олейник,
асп.

А.В. Макшанов,
д-р техн. наук, проф.

В.Е. Марлей,
д-р техн. наук, проф.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ И МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

DEVELOPMENT MONITORING SYSTEM STRAIN ENGINEERING AT THE WEB-BASED AND MICROCONTROLLERS

Предложена принципиальная технология для контроля деформаций и перемещений строительной части гидротехнических сооружений. Описана разработанная аппаратура для проведения измерений, принципы ее работы и информационная система учета и анализа поступающих данных. Отличительной особенностью всех разработок является применение открытых платформы Arduino и открытых технологий для создания программного обеспечения. Предложена сетевая структура измерительного комплекса, позволяющая в короткие сроки и при минимальных затратах построить контрольную сеть мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений. Разработана система для оценки текущего состояния строительной части на основе группы интегральных критериев, что обеспечивает точность и однородность при анализе поступающих данных. Обоснована возможность построения системы сигнализации о недопустимых режимах эксплуатации гидротехнического сооружения.

Article presents a fundamental technology for the control of deformations and displacements in construction of hydrotechnical structures. The developed equipment for measurement, how it works and information system for accounting and analysis of the incoming data. A distinctive feature of all developments is the use open source Arduino platform and open source technology for creating software. Proposed network structure measuring complex, allowing you to quickly and at minimal cost to build a test network condition monitoring of hydrotechnical structures. Developed a system to assess the current state of the construction of the group on the basis of integral criteria that ensures the accuracy and consistency when analyzing incoming data. The possibility of constructing a system of signaling improper operation of a hydrotechnical structures.

Ключевые слова: мониторинг, гидротехнические сооружения, деформации, контроль параметров, комплексный анализ, обеспечение безопасности.

Key words: monitoring, hydraulic structures, deformation, control parameters, complex analysis, security.

СОВРЕМЕННЫЕ сложные инженерные строительные сооружения — в частности гидротехнические сооружения (ГТС) — в результате влияния природных и человеческих воздействий различного характера могут испытывать значительные статические и динамические нагрузки, вызывающие перенапряжение и деформацию несущих конструктивных элементов. Указанные причины могут привести к нарушению целостности и последующему разрушению сооружения. Подобные воздействия также могут сопровождаться перемещением сооружения (или элементов его конструкции) в пространстве. При этом пространственные изменения положения сооружения (или элементов его конструкции) носят как постоянный (статический), так и временный (динамический) характер.

Долговременную безаварийную работу тонких подпорных стенок обеспечивают систематические наблюдения. Цель этих наблюдений состоит в получении информации о действительном техническом состоянии конструкций, необходимой для назначения оптимального режима их дальнейшей эксплуатации. Как правило, такие наблюдения ведутся с использованием инструментальных средств в ручном режиме. Автоматизация измерений позволит существенно сократить затраты, увеличить объем и качество контролируемых параметров, а в перспективе — вносить изменения в условия эксплуатации, что увеличит технический ресурс работы ГТС.

В работах [1]–[4] представлены методики и аппаратура для проведения автоматизированного мониторинга технического состояния ГТС, разрабатываемые в ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова». В аналогичных по функционалу разработках [5]–[7] используется другая измерительная аппаратура (по стоимости и принципам действия).

Данная статья посвящена решению задач по построению методик и техники наблюдений, направленных на обеспечение прогнозирования характера напряженно-деформированного состояния сооружений и работоспособности при длительной эксплуатации. Решение поставленных задач основывается на использовании аппарата математической статистики.

Инструментальное наблюдение за эксплуатируемыми опорными стенками ГТС должны включать:

- регистрацию вида нагружений;
- регистрацию смещений верха стенок;
- измерение прогибов упругой линии стенок.

В долговременном плане эти наблюдения должны также включать текущий контроль:

- изменения прочности конструкционного материала (бетона);
- коррозии стального шпунта и анкерных тяг;
- изменения относительной плотности грунта засыпки.

Интегральным эффектом процесса взаимодействия тонкой подпорной стенки с грунтом основания является постепенное нарастание напряжений в ее элементах. Величина смещения верха конструкции позволяет судить об изменении ее напряженного состояния и степени общей устойчивости, а прогиб упругой линии — о напряжении в стенке.

Для правильной оценки результатов измерений необходимо отслеживать динамику изменения параметров во времени в зависимости от внешних факторов. Все данные измерений должны фиксироваться вместе с указанием окружающей ситуации (действующие нагрузки, уровень воды в засыпке, температура воздуха и т.п.). Удаление опоры от линии кордона стенки должно быть не менее величины $Lctg\varphi$, где L — свободная высота сооружения, φ — угол внутреннего трения грунта засыпки. Обследуемый участок стенки выдерживается под нагрузкой до стабилизации вызванных ею деформаций.

Исходным соотношением для оценивания параметров напряженного состояния стенки служит уравнение упругой линии, связывающие с прогибами перерезывающие силы $Q(x)$ и нагрузку на стенку $N(x)$. Выражение для изменения нагрузки N и прогиба y во времени получают, решая совместно уравнение упругой линии балки и уравнение состояния вязкого элемента, что приводит к соотношениям:

$$y(x, t) = \frac{x^2}{2EI} \left[P(H - \frac{x}{3}) - N(t) \frac{2h}{3} \right], \quad N(t) = W \exp(-Bt), \quad W = \frac{3P}{2h} \left(H - \frac{h}{3} \right), \quad B = \frac{3EI}{\eta h^3}. \quad (1)$$

Здесь P — постоянная сила, приложенная на расстоянии H от опоры; h — длина участка между опорами; EI — жесткость элемента; η — вязкость линейно-ползучего элемента.

Наибольший интерес представляют изгибающие моменты в стенке, по величинам которых можно определить напряжения в материале конструкций. Они оцениваются по формуле

$$M(x, t) = P(H - x) - W(h - x) \exp(-Bt). \quad (2)$$

Для аппроксимации измеренных упругих линий тонких подпорных стенок используется формула Л. Л. Лякмунда:

$$y = p(x) \exp(-\alpha(x-\beta)^2). \quad (3)$$

По результатам измерений строятся графики зависимости оцениваемых параметров от интенсивности нагрузки (отдельно для ближней и дальней зон нагружения). На их основе устанавливается закономерность приращения усилий, которая служит для назначения допустимой нагрузки.

Специфика рассматриваемого подхода состоит в том, что он не требует специальной серии пробных нагружений, анализ проводится в ходе нормального рабочего процесса конструкции.

Процессы старения конструкции обычно анализируются по динамике снижения во времени допустимой нагрузки. Имеется гипотеза, согласно которой степень деградации конструкции можно оценить на основе наблюдений за процессами обратной релаксации при снятии нагрузки. Эти выводы соответствуют границе разрешающей способности аппаратуры и возможны только за счет статистической обработки больших массивов данных. Оценка возможности получения рабочей методики таких выводов является одной из целей проводимого эксперимента.

Оценка деформации гидротехнических конструкций — более трудная задача, требующая разработки как специализированных методологий, так и специального оборудования, обладающего повышенной точностью для измерения кинетических особенностей угловых смещений и наклонов элементов конструкций, осадки и прочих возможных случаев деформаций. Вся информация об изменении геометрической топологии конструкции должна собираться непрерывно в реальном масштабе времени, так как разовые геодезические съемки не дают достоверных данных о техническом состоянии гидротехнических сооружений (ГТС), которые могут быть подвержены повторяющимся кратковременным обратимым деформациям, связанным с причаливанием судов, разгрузкой (погрузкой) грузов, естественной осадкой конструкций, ледовой нагрузкой и др.

Мониторинг состояния ГТС будет проводиться на базе микропроцессоров и интернет-технологий. На основе непрерывного анализа статистических данных, полученных в реальном масштабе времени в «контрольных точках» гидротехнического сооружения, строится статистическая модель состояния ГТС. В результате статистическая модель вместе с теоретической (математической) моделью включаются в контур мониторинга и систему диагностирования состояния гидротехнического сооружения. «Статистическая» модель строится, например, на основании метода группового учета аргументов, то есть построения матрицы (векторных) величин контрольных параметров группы в программно заданное время (опроса параметров). Обе модели включаются в контур мониторинга, и решение о фактическом состоянии ГТС в текущий момент времени принимается с учетом прогнозных значений полученных по модели и данных измерений. Значения параметров моделей уточняются на основании проводимых измерений и полученных расхождений в значениях, рассчитанных по моделям и по измерениям.

В настоящее время на российском рынке средств мониторинга представлено импортное оборудование для диагностики деформаций (например, оборудование швейцарской компании Leica Geosystems), которое имеет очень высокую стоимость при узко специализированном назначении. В данной статье рассмотрен методологический подход к разработке системы для непрерывного мониторинга деформаций гидротехнических сооружений, который заключается в применении в проектах комплекта следующего оборудования: микроконтроллеры семейства AVR (Amtel), современные электронные датчики (параметрические приборы измерения изменений физической величины в реальном масштабе времени), а также устройства беспроводной связи. Различные комбинации комплектов такого оборудования позволяют разрабатывать более дешевые измерительные комплексы и системы мониторинга с гибкой настройкой и возможностью их модификации в будущем.

Основными технологическими элементами системы мониторинга являются блоки измерения, несколько серверов сбора данных и главный сервер (обыкновенный персональный компьютер, подключенный к сети). В качестве платформы микроконтроллеров была выбрана Arduino [11] — аппаратная вычислительная платформа, основными компонентами которой являются простая плата ввода-вывода и среда разработки на языке Processing/Wiring (упрощенная версия C++) [10].

Arduino может использоваться как для создания автономных интерактивных объектов, так и подключаться к программному обеспечению, выполняемому на компьютере (например, Processing). Платформа Arduino успешно применяется в различных проектах, связанных с организацией непрерывного мониторинга различных физических параметров [8], [9].

Каждый измерительный блок (рис. 1) состоит из следующих компонентов:

- микроконтроллера на базе AVR ATmega328 (Arduino Nano 3.0);
- трехосевого цифрового акселерометра ADXL345;
- модуля беспроводной связи APC220-43, 455MHZ-418M (1К шаг).



Рис. 1. Структура измерительного блока

Сервер сбора данных (рис. 2) состоит из следующих компонентов:

- микроконтроллера на базе AVR ATmega328 (Arduino Uno);
- платы расширения Ethernet Shield;
- модуля беспроводной связи APC220-43, 455MHZ-418M (1К шаг).



Рис. 2. Общее представление сервера сбора данных

Ethernet Shield — это плата расширения, которая устанавливается поверх самого Arduino. Она дает возможность выступать в качестве сетевого устройства (поддержка протокола TCP/IP) и общаться по проводной сети с аналогичными устройствами, обычными компьютерами, принтерами, сервисами в интернете и прочими сетевыми ресурсами. Каждый измерительный блок получает идентификационный номер и устанавливается (монтируется) строго в контрольных точках объекта мониторинга. Общее управление измерительным блоком осуществляет микроконтроллер ATmega328 (Arduino Nano 3.0), в который предварительно через usb-порт загружается программа — так называемый скетч (sketch). В заданный пользователем промежуток времени происходит обработка данных, поступающих от измерительных электронных датчиков. «Трехосевой» акселерометр (ADXL345) с высоким разрешением (13 бит) позволяет производить измерения ускорения (силы гравитации) по всем трем ортогональным осям с точностью отклонения не менее $\pm 0,1^\circ$ и диапазоном значений от $\pm 2g$ до $\pm 16g$ м/с².

Электронный акселерометр позволяет зафиксировать проекцию ускорения на три пространственные оси, то есть определить интенсивность перемещений, связанных с любыми механическими воздействиями.

Рабочий температурный диапазон измерительного блока составляет от -40 до $+70^{\circ}\text{C}$ (допустимые предельные значения рабочих температур определяются в зависимости от типов применяемых в блоках системы компонентов). Питание может подаваться от внешнего источника либо от аккумулятора, что обеспечивает простоту использования, мобильность и надежность устройств системы. Работа системы может быть реализована как непрерывно, так и для периодических измерений.

На базе блоков организуется измерительная сеть (рис. 3), в которую могут входить до 30 устройств, обеспечивающих непрерывный мониторинг деформаций для каждой точки в автоматическом режиме.

При работе системы в режиме периодических измерений все данные, получаемые от отдельных измерительных блоков посредством радиосвязи, передаются на серверы сбора данных для организации их хранения (запись данных производится на SD-карту) до тех пор, пока главный сервер не обратится к ним. В случае непрерывного мониторинга серверы сбора данных ретранслируют данные по протоколу TCP/IP на главный сервер, где они обрабатываются и анализируются по специально разработанным алгоритмам.

Для оперативного реагирования на изменение текущего состояния величины основных контролируемых параметров объекта в измерительной системе предусматривается возможность контрольно-предупредительной сигнализации, которая оперативно информирует центр управления объектом о резком изменении величины контролируемых параметров или о недоступности измерительного блока (его произвольном отключении).

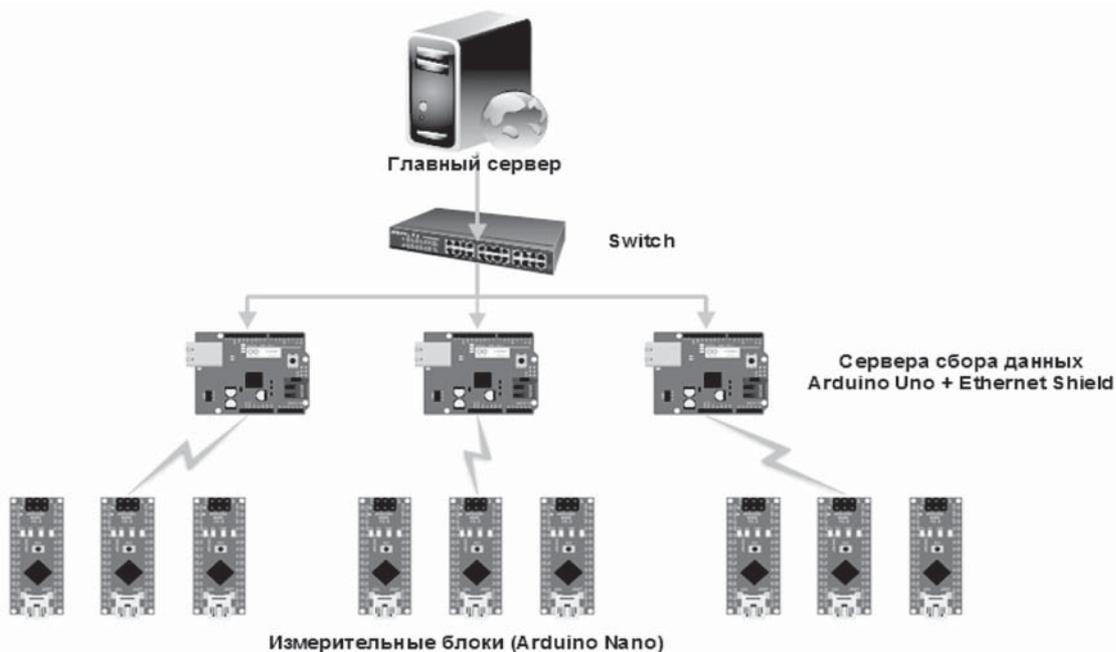


Рис. 3. Сетевая структура измерительных блоков, обеспечивающая сбор и хранение данных на сервере

Информация о состоянии объекта каждый раз при актуализации оценивается по некоторому множеству критериев. Нахождение значений критерия в некотором интервале позволяет сделать вывод о состоянии сооружения. Критериев может быть несколько и желательно их свести в некоторый интегральный вид. Предполагается, что критерии изменяются приблизительно в одном

диапазоне, что однако не всегда возможно на практике — необходима нормализация значений. В качестве одного из возможных подходов предложим следующую функцию состояния.

Оценочная функция принимает значение только в области положительных чисел и имеет два интервала монотонности. Функция показывает относительное приближение значения переменной к некоторому базовому интервалу. Вне промежутка допустимых значений скорость изменения функции меньше, чем в области допустимых значений.

На основании использования данной оценочной функции можно ввести интегральные оценки состояния для нескольких критериальных переменных и ряда моментов времени:

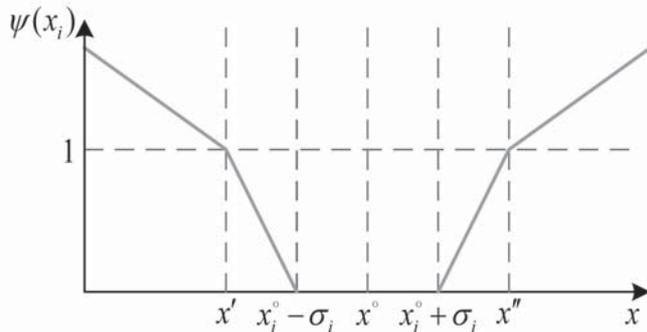


Рис. 4. Вид функции $\Psi(x_i)$

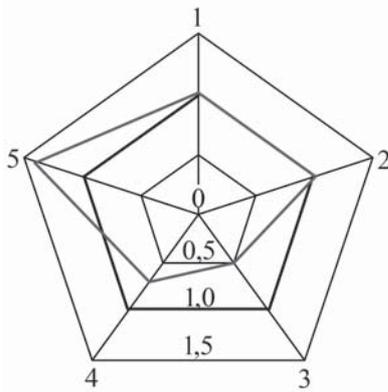


Рис. 5. Отображение состояния в некоторый момент времени

$\psi(t) = \max(\psi(x_i))$ — оценка состояния для шага t для множества i -х критериальных переменных; $\psi(i) = \max(\psi(x_i))$ — оценка траектории i -й переменной во времени t ; $\psi = \max(\psi(t)) = \max(\psi(i))$ — оценка траектории для заданного числа шагов и заданного множества критериальных переменных. При этом:

$\psi(t) \in [0, 1]$ — допустимое состояние объекта для шага моделирования t ;

$\psi(t) = 0$ — оптимальное состояние объекта для шага моделирования t ;

$\psi(i) \in [0, 1]$ — допустимая траектория переменной для заданного числа шагов;

$\psi(i) = 0$ — оптимальная траектория переменной для заданного числа шагов;

$\psi \in [0, 1]$ — допустимая траектория объекта для заданного числа шагов для заданного множества критериальных переменных;

$\psi = 0$ — оптимальная траектория объекта для заданного числа шагов для заданного множества критериальных переменных.

Оценку технического состояния объекта на одном моменте времени лучше всего иллюстрировать звездчатой диаграммой (рис. 5).

На рис. 5 показаны «единичная» область допустимых значений и критериальная переменная, для которой значения вышли за область допустимых. Значение функции $\psi(i)$ будет соответствовать наибольшему лучу диаграммы.

Оценку траектории переменной можно проиллюстрировать на графике зависимости $\psi(x) = f(t)$ (рис. 6), где отмечена единичная граница допустимых значений.

Значение функции $\psi(t)$ будет соответствовать наибольшей ординате графика.

Число градаций функции может быть увеличено. Рассмотрим сначала это на примере. Пусть $\psi(x_i)$ имеет три градации, для наглядности возьмем значения $\{1; 0,5; 0\}$. Тогда из известного в аналитической геометрии уравнения прямой,

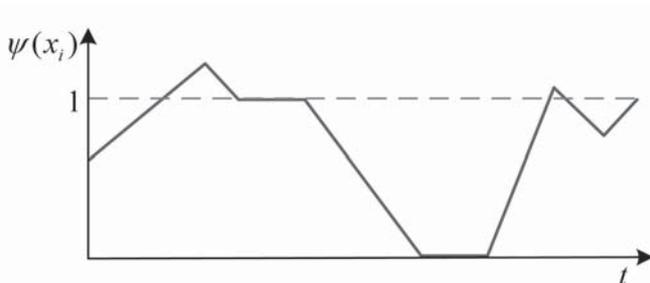


Рис. 6. Отображение траектории переменной

определяемой двумя точками $\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$, получим соотношение, которое будет соответствовать изменению функции в промежутках ее значений $[1; 0,5]$ и $[0,5; 0]$ слева и справа от оптимальной окрестности (или в соответствующих интервалах монотонности):

— для случая слева от оптимальной окрестности:

$$-0,5 * \frac{x_i - x_i'}{x_i^1 - x_i} + 1, \text{ для } x_i' \leq x_i \leq x_i^1; \quad -0,5 * \frac{(x_i^o - \sigma_i) - x_i}{(x_i^o - \sigma_i) - x_i^1} + 0,5, \text{ для } -x_i^1 \leq x_i \leq x_i^o - \sigma_i$$

для случая справа от оптимальной окрестности:

$$-0,5 * \frac{x_i'' - x_i}{x_i^2 - x_i} + 1, \text{ для } x_i^2 \leq x_i \leq x_i''; \quad -0,5 * \frac{x_i - (x_i^o + \sigma_i)}{x_i^2 - (x_i^o + \sigma_i)} + 0,5, \text{ для } x_i^o + \sigma_i \leq x_i \leq x_i^2,$$

где x_i^1 — нижняя граница значений введенного интервала переменных; x_i^2 — верхняя граница значений введенного интервала переменных.

В рассматриваемом случае 0,5 — это значения функции ψ , в точках x_i^1 и x_i^2 они равны. Если продолжить данный процесс, то в силу определения вводимой функции значения функций на концах интервалов будут равны, а значения функций на границах соседних интервалов (вложенных), исходя из тех же формул аналитической геометрии, будут:

— для левого интервала монотонности:

$$-\varphi(x_i^{j+1}) * \frac{x_i - x_i^j}{x_i^{j+1} - x_i^j} + \varphi(x_i^j), \text{ для } x_i^j \leq x_i \leq x_i^{j+1};$$

для правого интервала монотонности:

$$-\varphi(x_i^{j+1}) * \frac{x_i^j - x_i}{x_i^j - x_i^{j+1}} + \varphi(x_i^j), \text{ для } x_i^{j+1} \leq x_i \leq x_i^j,$$

где x_i^{j+1} — граница значений внутреннего (вложенного) интервала значений (минимальное значение — в левом интервале монотонности, максимальное — в правом); x_i^j — граница значений внешнего (поглощающего) интервала значений (минимальное значение — в левом интервале монотонности, максимальное — в правом).

Заметим, что если все промежутки между границами соседних вложенных интервалов функции ψ будут равны между собой, то они расположатся на прямой (см. рис. 6).

Приведенные оценки позволяют судить о степени приближения поведения модели (объекта) к эталонному состоянию. Данная оценочная функция может быть применена, например, к оценке состояния причальной стенки по перемещениям ее оголовка или определению допустимой эксплуатационной нагрузки по перемещениям стенки, анкерной опоры и напряжениям в анкерных тросах.

Выводы

Рассмотрен прототип автоматизированной системы для непрерывного мониторинга деформаций гидротехнических строительных конструкций и сигнализации о недопустимых изменениях величины контролируемых параметров и принципы оценки критериальных переменных. Основными преимуществами разрабатываемого измерительного комплекса являются его минимальные размеры, низкое энергопотребление, а также предусмотренная конструкцией возможность его программной и аппаратной модификации в будущем.

Список литературы

1. Балонин Н. А. Новые информационные технологии мониторинга гидротехнических сооружений / Н. А. Балонин, П. А. Гарибин, В. Е. Марлей // Журнал университета водных коммуникаций. — 2009. — №4. — С. 150–154.

2. Балонин Н. А. Перспективы использования информационных технологий для мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений / Н. А. Балонин, П. А. Гарибин, В. Е. Марлей и др. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. — 2010. — № 93. — С. 171–176.

3. Гарибин П. А. Обеспечение контролеспособности сооружений — один из этапов построения прогнозных моделей / П. А. Гарибин, В. Е. Марлей, Г. Г. Рябов // Журнал университета водных коммуникаций. — 2010. — № 1. — С. 8–14.

4. Гарибин П. А. Разработка автоматизированной системы для непрерывного контроля технического состояния гидротехнических сооружений / П. А. Гарибин, В. Е. Марлей, Е. О. Ольховик, С. В. Шабанов // Гидротехника XXI ВЕК — 2013. — № 2 (14). — С. 50–53.

5. Устинов А. В. Технология спутникового геодезического мониторинга гидротехнических сооружений / А. В. Устинов // Гидротехническое строительство. — 2014. — № 6. — С. 39–43.

6. Арифалин Е. З. Методология мониторинга чрезвычайных ситуаций, связанных с авариями на гидротехнических сооружениях / Е. З. Арифалин, В. И. Федянин, А. С. Мальцев и др. // Вестник воронежского института ГПС МЧС России. — 2013. — № 2(7). — С. 28–35.

7. Малько А. В. Организация мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений Светлинской ГЭС (Вилуйской ГЭС-3) / А. В. Малько и др. // Гидротехническое строительство. — 2012. — № 12. — С. 2–10.

8. Лазаренко М. Л. Система мониторинга и управления температурой в климатической камере / М. Л. Лазаренко, Л. М. Лазаренко // Международный технико-экономический журнал. — 2014. — № 5. — С. 67–71.

9. Гаврильев А. Л. Использование аппаратной вычислительной платформы «Arduino» для удаленного мониторинга блок-боксов / А. Л. Гаврильев, Д. Ю. Берчук, Д. В. Журавлев // Сб. тр. XI Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». — Томск: Нац. исслед. Томский политехнический университет, 2013. — С. 229–231.

10. Соммер, У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino. / У. Соммер. — СПб.: Изд.: БХВ-Петербург, 2012. 256 с.

11. Ардуино, инструмент для проектирования электронных устройств. [Электронный ресурс] / Сайт производителя. Режим доступа: <http://arduino.ru>

УДК 004.056.5

А. В. Башмаков,
канд. техн. наук, доц.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ПОДХОДА К ПОСТРОЕНИЮ ЗАЩИЩЕННЫХ БЕСПРОВОДНЫХ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

THE CHOICE OF THE OPTIMAL APPROACH TO BUILDING SECURE WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS

В статье рассмотрены основные подходы, применяемые при построении беспроводных локальных сетей, включающие экспериментальные методы исследования, аналитическое и имитационное моделирование. Указаны существующие частные «готовые» методологические (технологические) решения. Предложены группы внешних характеристик беспроводных локальных сетей для решения оптимизационных задач. В ходе выбора предпочтительной технологии беспроводной локальной сети рекомендовано использовать метод главного критерия. Представлен оптимальный вариант построения защищенной беспроводной сети, в котором в качестве целевой функции выступают показатели затрат, а остальные показатели (качество услуг, устойчивость к внешним воздействиям) являются ограничениями.

The article considers the main approaches applied to creation of wireless local networks, including experimental methods of research, analytical and imitating modeling are considered. The existing private "ready" methodological (technological) decisions are specified. The groups of external characteristics of wireless local networks applicable in the solution of optimization tasks are offered. During a choice of wireless local networks preferable technology is recommended to use a method of the main criterion. The optimum option of creation of the protected wireless network in which is presented indicators of expenses act as criterion function, and other indicators (quality of services, stability to external influences) act as restrictions.

Ключевые слова: беспроводные локальные сети, автоматизированные системы, методика, показатели БЛС.

Key words: wireless local area networks, automated systems, methods, indicators WLAN.

Введение

Одной из важнейших проблем современного речного флота является обеспечение безопасности судоходства при плавании по внутренним водным путям Российской Федерации, что невозможно представить без современных технических средств и систем во всех сферах деятельности вплоть до систем отраслевого мониторинга. Для решения указанных задач на внутренних водных путях Российской Федерации успешно внедряются автоматизированные системы управления движением судов, имеющие в составе различные современные информационные системы телекоммуникаций и мониторинга: системы радиосвязи, видеонаблюдения и радиолокационного контроля, информационно-диспетчерские службы и др. [1]–[3].

Современные средства передачи данных, построенные с использованием беспроводных технологий, широко используются в информационных системах портовой зоны с целью упрощения работы экспедиторов, судовых агентов и брокеров, которым необходима возможность оперативной передачи информации. С учетом строительства новых речных и морских терминалов и перспектив развития контейнерных перевозок необходимость в передаче данных будет только расти.

Несмотря на то, что в настоящее время разработано множество методов построения разнообразных типов локальных вычислительных сетей и предложены различные технические решения, проблема их построения, а в особенности — беспроводных сетей на основе интегрального критерия, включая экономические и технические показатели, — остается сложноразрешимой.

Основные подходы к построению беспроводных локальных сетей (БЛС)

Для построения БЛС могут применяться экспериментальные методы исследования, аналитическое и имитационное моделирование. Экспериментальные методы используются при необходимости реальных характеристик, эти сведения собираются с помощью специальных средств на реально развернутой сети. Измерение параметров БЛС, характеризующих динамику ее функционирования, можно производить программными и аппаратными измерителями, тестерами, сетевыми анализаторами, встроенными средствами мониторинга. Основной проблемой при проведении экспериментов является определение состава и требуемой точности регистрации измеряемых параметров.

Для измерения параметров радиointерфейса и анализа передаваемого в сети трафика можно использовать сетевые анализаторы или программы-снифферы [4], [5].

Применение экспериментальных методов исследования БЛС позволяет достаточно точно разработать ее структуру, но при этом требуются большие затраты на создание сети, лабораторий, стендов, подготовку научных сотрудников и детальное планирование проводимого эксперимента.

Использование аналитических методов связано с необходимостью математического моделирования БЛС в строгих математических терминах. Аналитические модели носят обычно вероятностный характер и строятся на основе понятий аппарата теории вероятностей, теории массового обслуживания, Марковских процессов, методов диффузионной аппроксимации, а также с применением дифференциальных и алгебраических уравнений [6], [7]. Поскольку события, проис-

ходящие в БЛС, носят случайный характер, то для их изучения наиболее подходят вероятностные математические модели теории массового обслуживания.

В целом БЛС может быть представлена в виде смешанной сети массового обслуживания (далее — СеМО), в которой циркулирует несколько различных типов заявок (трафик), причем относительно одних типов заявок сеть замкнута, а относительно других — открыта.

В связи с тем, что поверх БЛС осуществляется передача данных пакетной телефонии, потокового видео, а также служебной информации, для моделирования сетей применяются неэкспоненциальные модели с параметром Херста (параметр самоподобия) H более 0,5. При анализе неэкспоненциальных сетей в общем случае отсутствуют точные решения, поэтому наибольшее применение здесь находят приближенные методы, в том числе метод диффузионной аппроксимации.

Аналитические методы используются при исследовании БЛС в первом приближении или при решении специфических задач. Это обусловлено рядом причин:

- сложностью аналитического описания их функционирования;
- значительными упрощениями, свойственными большинству моделей;
- громоздкостью вычислений для сложных моделей;
- сложностью выделения и выбора наиболее важных характеристик БЛС.

Из представленного выше обзора основных подходов к моделированию локальной сети следует, что в общем случае модель БЛС представляет собой совокупность аналитических и имитационных моделей, апробированных в ходе физических экспериментов. Однако во многих случаях для принятия обоснованных предварительных решений может быть вполне достаточно аналитических моделей, учитывающих наиболее существенные внутренние характеристики анализируемых технологий построения БЛС и внешние характеристики условий функционирования данных сетей.

Анализ существующих подходов к построению беспроводных локальных сетей

Типовая задача проектирования БЛС заключается в выборе такого варианта построения сети, при котором обеспечивается заданная зона обслуживания с заданными:

- качеством предоставляемых услуг;
- условиями внешних воздействий;
- уровнем обеспечения безопасности и при допустимом расходе сетевых ресурсов.

При решении этой задачи в зависимости от исходных данных, условий самого процесса проектирования (наличия соответствующих методик, быстродействия и объема памяти компьютеров, доступного времени на подготовку принятия решения и т. п.) могут ставиться и решаться различные оптимизационные задачи — как общие (для отдельных проектируемых сетей или для сценариев построения различных сетей в различных условиях), так и частные (для отдельных элементов сети, используемых протоколов, алгоритмов и т. п.).

В оптимизационных задачах для конкретной проектируемой сети (или для сценариев построения различных сетей) в качестве целевой функции обычно выступают некоторые обобщенные характеристики одной из трех групп внешних характеристик сети (включают набор частных характеристик):

- 1) показатели затрат (требуемая суммарная стоимость, требуемое количество частотных каналов или полос частот, требуемое количество точек доступа и др.);
- 2) показатели качества услуг (показатели своевременности, достоверности, пропускной способности, защищенности, размера зоны обслуживания и т. п.);
- 3) показатели устойчивости к внешним воздействиям (помехам, попыткам компрометации передаваемых данных, техническим отказам, ошибкам управления, перегрузкам и т. п.).

Как правило, при выборе обобщенного показателя одной группы, частные показатели других двух групп выступают в качестве ограничений, т.е. они должны быть заданы как характеристики внешних условий, или к ним следует предъявить определенные требования, которые сеть должна выполнить [8].

Кроме того, в отдельных группах показателей выбор одного из них в качестве целевой функции обычно предполагает задание остальных в виде ограничений. Например, в рамках второй группы показателей качества услуг в качестве максимизируемой целевой функции (при проектировании БЛС) часто выбирается показатель размера зоны обслуживания, а показатели уровня безопасности, пропускной способности, своевременности и достоверности являются контролируруемыми ограничениями. Иногда в роли максимизируемой целевой функции выступает пропускная способность сети, а остальные показатели (включая заданный размер зоны обслуживания) — как контролируемые ограничения.

Показатели, обусловленные требованием по построению защищенной БЛС, крайне редко используются в качестве целевой функции и являются ограничивающими.

Наряду с отмеченными выше общими подходами в области проектирования локальных сетей существует множество частных «готовых» методологических (технологических) решений. В частности, в результате исследований ученых Ю. П. Зайченко, Ю. В. Гонга, С. В. Назарова, С. Ф. Спокойнова и др. [7], [9] были разработаны следующие алгоритмы синтеза ЛС:

- добавление точек доступа ADD;
- удаление точек доступа DROP;
- предварительное группирование точек доступа COM (Center of mass) и New Clust;
- синтез сетей с точками доступа, ориентированный на использование разнотипных каналов RAM и др.

В приведенных выше алгоритмах синтеза топологических структур комбинированных сетей не учитывается возможность перемещения рабочих станций в реальном масштабе времени (роуминг) и расширяемость (увеличение количества рабочих станций БЛС). Это объясняется тем, что в них используются статические или псевдостатические топологические структуры сетей.

Вопросам проектирования коммерческих БЛС посвящены работы В. М. Вишневого [6], [10], Дейв Молта [11]; Педжман Рошан [12] и др. В них рассматриваются процедуры подключения рабочих станций к точкам доступа, а также соединение их между собой с учетом встраиваемых средств адаптации, заложенных в алгоритмы функционирования БЛС. Примером таких алгоритмов может послужить технология MIMO, которая нашла широкое применение в стандартах IEEE 802.11n/ac/ad [13].

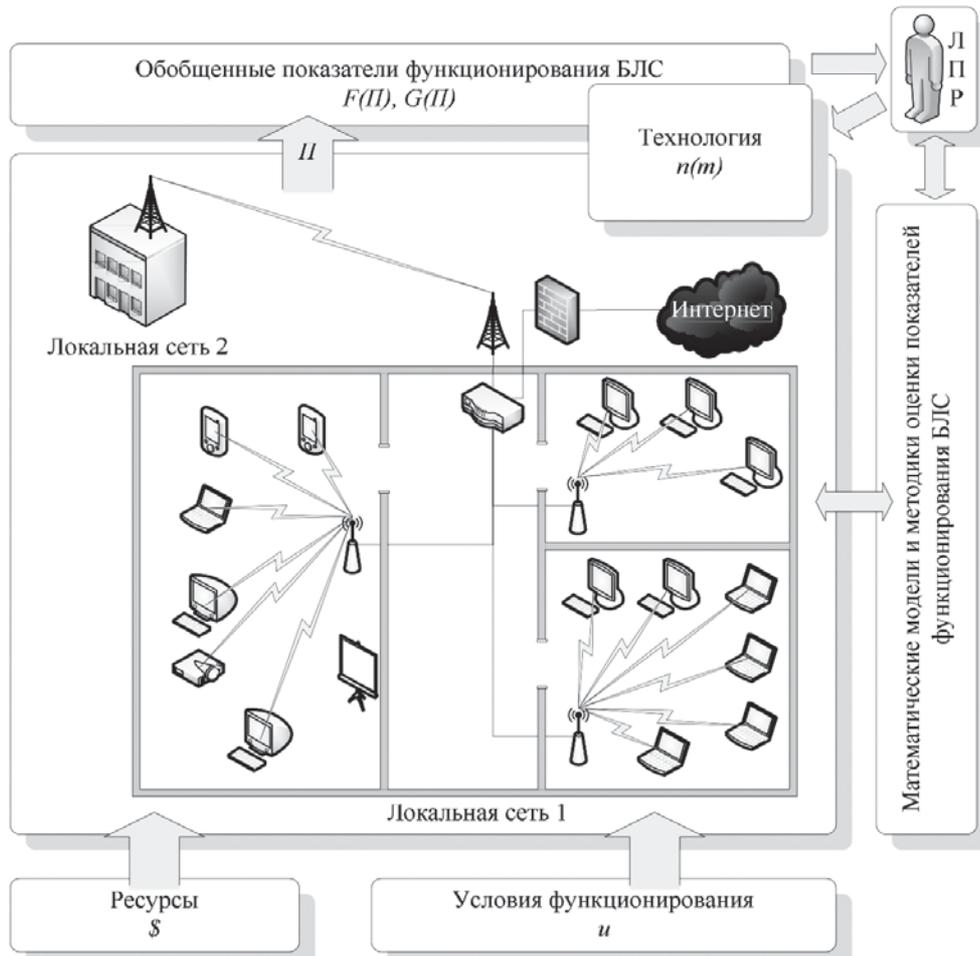
Выбор оптимального варианта построения БЛС

В общем случае задача построения БЛС является многокритериальной. При этом проектируемая БЛС описывается множеством внешних показателей, являющихся M -мерным вектором, зависящим от варьируемых параметров (или частных показателей) Π , которые в свою очередь определяются выбранным вариантом n БЛС с набором внутренних характеристик $m(n)$, а также внешними характеристиками условий функционирования u , т. е. $\Pi = f(m(n), u, \$)$. В случае, когда данный вектор представлен в виде векторной целевой функции $F(\Pi)$ при наличии ограничений $G(\Pi)$, можно считать, что сформулирована задача «оптимизации», которая предполагает поиск условного экстремума $F(\Pi^*)$, являющегося обобщенной характеристикой результатов синтеза сети в виде искомого значений варьируемых параметров (или частных показателей) Π^* .

Процесс построения БЛС целесообразно разбить на многоэтапную последовательность процедур анализа и синтеза отдельных элементов сети и сети в целом.

В простейшем случае синтез (построение) БЛС сводится к выбору конкретной технологии из существующего их множества на основе сравнения одних и тех же обобщенных показателей функционирования БЛС в одинаковых (типовых) условиях для каждой технологии. При этом методика построения БЛС сводится к описанию процесса сравнения показателей функционирования БЛС и принятия решения в соответствии с выбранным критерием.

Ниже приведена обобщенная модель процесса выбора технологии БЛС, включающая блок принятия решения, основывающийся на проверке выполнении заданных требований к качеству связи при выделенном ресурсе и заданных дестабилизирующих факторах.



Блок-схема процесса выбора технологии БЛС

В качестве основы многокритериального критерия для телекоммуникационных сетей часто принимают вероятностно-временные характеристики, отражающие требования абонентов БЛС [9] или приведенные затраты [10]. Иногда в качестве интегрального критерия оценки БЛС используются абстрактные векторные целевые функции [7] в сочетании с различными вариантами их свертки в обобщенный скалярный показатель с учетом предпочтений (со стороны лица, принимающего решение) частных показателей функционирования БЛС.

Задача оценки БЛС по интегральному критерию может быть представлена как векторная задача математического программирования, формулируемая следующим образом.

Пусть $\bar{\Pi} = \{\bar{\Pi}_i, i = \overline{1, M}\}$ — M -мерный вектор показателей, описывающий альтернативный вариант БЛС и принадлежащий множеству M -мерных векторов $\bar{\Pi} \in R^M$.

Функциональная взаимосвязь показателей, характеризующих эффективность функционирующей БЛС, устанавливается определенными соотношениями, на которые накладываются ограничения Ω :

$$G(\bar{\Pi}) \in \Omega, G(\bar{\Pi}) = \{g_j(\bar{\Pi}), j \in J\}, \Omega = \{\omega_j, j \in J\}, g_j(\bar{\Pi}) \in \omega_j, \quad (1)$$

где J — множество индексов ограничений.

Функционирование БЛС направлено на выполнение определенных целей, связанных с вектором показателей зависимостью $f_k(\bar{\Pi}), k \in K$, где K — множество индексов целей.

Множество целей F можно представить в виде векторной целевой функции

$$F(\bar{\Pi}) = \{f_k(\bar{\Pi}), k \in K\}. \quad (2)$$

Предполагается, что каждый компонент векторной целевой функции направлен на оптимизацию своего значения, следовательно, задача выбора по множеству целей решается как задача выбора допустимого вектора показателей $\bar{\Pi}$ из области ограничений (2) по векторной целевой функции $F(\bar{\Pi})$. Таким образом, общую задачу выбора оптимального варианта построения БЛС можно сформулировать следующим образом:

$$n^* \Rightarrow \text{opt } F(\bar{\Pi}) = \{f_k(\bar{\Pi}), k \in K\} \text{ при } G(\bar{\Pi}) \in \Omega, \Pi = f(m(n), u, \$), \quad (3)$$

т. е. необходимо выбрать такой вариант n^* построения БЛС, в котором векторная целевая функция достигает своего экстремума при определенных ограничениях. Исходя из того, что это векторная задача с ограничениями, то ее решение будет некорректным, так как при достижении одного из $k \in K$ своего экстремума улучшение по другим компонентам векторной целевой функции невозможно. Отсюда следует, что решение задачи с ограничениями (3) может быть только компромиссным, удовлетворяющим в определенной степени всем компонентам векторной целевой функции и иметь смысл при выборе некоторого правила предпочтения из рассмотренных выше. Выбор правила предпочтения позволит определить из множества N такой вариант БЛС Π_i^* , для которого выполняется следующее условие:

$$\Pi_i \in R^N, \Pi_i^* \in R^N, \text{ где } \Pi_i^* \succ \Pi_i. \quad (4)$$

В ходе выбора предпочтительной БЛС можно использовать метод главного критерия, заключающийся в следующем:

1. ЛПР ранжирует свойства БЛС в зависимости от их значимости $C_i^* \succ C_i$ для конкретных условий и целей функционирования сети. При этом используется рассмотренный выше способ задания правила предпочтения, основанный на наложении ограничений.
2. Для каждого i -го свойства определяется набор показателей Π_i , который также ранжируется с помощью способа задания правила предпочтения, основанного на свертывании показателей.
3. Производится свертка показателей для каждого i -го свойства БЛС на основе векторной целевой функции $F_{C_i}(\bar{\Pi})$ с учетом наложенных на нее ограничений.
4. Производится свертка свойств для всей БЛС на основе векторной целевой функции $F_N(\bar{F}_{C_i})$ с учетом наложенных на нее ограничений.
5. Полученные результаты для различных вариантов построения БЛС сравниваются, и выбирается та сеть, которая имеет наилучшее значение векторной целевой функции $F_N(\bar{F}_{C_i})$.

Наряду с положительными сторонами использования интегрального критерия оценки БЛС, основанного на задании правил предпочтений для показателей сети, существуют и отрицательные, которые определяются субъективизмом и уровнем компетентности ЛПР, а также абстрактностью производимых сверток показателей.

Учитывая большую степень неопределенности условий функционирования БЛС, при построении сети целесообразно использовать рассмотренный выше вариант решения задачи на основе показателя, обобщающего часть показателей одной из трех групп внешних свойств БЛС, при условии допустимости значений показателей двух других групп. При этом для определения указанного обобщенного показателя в выбранной первой группе можно использовать указанный выше метод главного критерия.

При построении, модификации или реконфигурировании БЛС чаще всего приоритетным является ресурсный показатель, характеризующий величину затрачиваемых ресурсов (стоимостной, частотный) на ее построение. В данном случае для соответствующего сценария построения БЛС — так как известны цели и условия функционирования сети — фиксируются показатели безопасности передаваемой информации $f_k(\Pi_{\text{без}})$, своевременности $f_k(\Pi_{\text{св}})$ и устойчивости $f_k(\Pi_{\text{уст}})$, а выбор варианта построения БЛС осуществляется по показателям расходуемых ресурсов $f_k(\$)$ в том числе расходуемых на построение защищенной БЛС.

Выводы

В ходе построения БЛС необходимо провести декомпозицию общей задачи на локальные процедуры, опирающиеся на комплекс математических моделей функционирования сети, позволяющих последовательно оценить все необходимые частные и обобщенные показатели.

При решении оптимизационных задач, вызванных проектированием БЛС, в качестве целевой функции целесообразно взять характеристики одной из трех групп внешних характеристик сети (показатели затрат, показатели качества услуг или показатели устойчивости к внешним воздействиям) при условии допустимости значений показателей двух других групп. При этом для определения обобщенного показателя в выбранной первой группе можно использовать метод главного критерия.

Оптимальным вариантом при построении защищенной беспроводной сети будет тот, в котором в качестве целевой функции выступают показатели затрат, а остальные выступают в качестве ограничений.

Конкретные математические модели функционирования БЛС и алгоритмы их построения будут предложены в следующих публикациях.

Список литературы

1. *Ныркoв А. П.* Современные информационные технологии в обеспечении безопасности судоходства / А. П. Ныркoв, Г. Б. Чистяков // Высокие технологии, фундаментальные исследования, образование. — Т. 2: Сб. тр. Седьмой междунар. науч.-практ. конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности». — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. — С. 198–202.
2. *Ныркoв А. П.* Программно-аппаратные средства дифференциальных навигационных систем для расстановки знаков навигационного ограждения в ГБУ «Волго-Балт» / А. П. Ныркoв, Г. Б. Чистяков // Морская радиоэлектроника. — 2009. — № 2. — С. 34–36.
3. *Ныркoв А. П.* Безопасность информационных потоков в АСУДС / А. П. Ныркoв, П. В. Викулин // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. — 2010. — № 4. — С. 78–82.
4. *Башмаков А. В.* Программно-аппаратные средства защищенности беспроводных сетей передачи данных / А. В. Башмаков, А. П. Ныркoв // Труды XII Санкт-Петербургской междунар. конф. «Региональная информатика — 2010» (РИ-2010). — СПб.: СПОИСУ, 2010. — С. 93.
5. *Башмаков А. В.* Безопасность беспроводных сетей: учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторных работ / А. В. Башмаков, Е. В. Зуров. — СПб.: СПГУВК, 2011. — 37 с.
6. *Вишнеvский В. М.* Математическое моделирование территориальных беспроводных сетей передачи информации, управляемых протоколом IEEE 802.11 / В. М. Вишнеvский, А. И. Ляхов // Тр. Междунар. симпозиума по проблемам модульных систем и сетей. — М., 2001.
7. *Назаров С. В.* Локальные вычислительные сети: справочник. — В 3 кн. — Кн. 3: Организация функционирования, эффективность, оптимизация / С. В. Назаров, Н. В. Ашихмин, А. В. Луговец и др. / под ред. С. В. Назарова. — М.: Финансы и статистика, 1995. — 248 с.
8. *Каторин Ю. Ф.* Защищенность информации в каналах передачи данных в береговых сетях автоматизированной идентификационной системы / Ю. Ф. Каторин, В. В. Коротков, А. П. Ныркoв // Журнал университета водных коммуникаций. — 2012. — № 1. — С. 98–102.
9. *Зайченко Ю. П., Гонта Ю. В.* Структурная оптимизация сетей ЭВМ. / Ю. П. Зайченко, Ю. В. Гонта. — Киев: Техника, 1986. — 168 с.
10. *Вишнеvский В. М.* Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. / В. М. Вишнеvский. — М.: Техносфера, 2003. — 512 с.
11. *Дейв Молта.* Проектирование корпоративных беспроводных ЛС / Дейв Молта. // Сети и системы связи. — 2002. — № 10 (88).
12. *Педжман Рошан.* Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11 / Рошан Педжман, Лиэри Джонатан. — М.: Издат. дом «Вильямс», 2004.
13. Интернет ресурс <http://www.ieee802.org/11/> — официальный сайт рабочей группы по разработке стандартов для беспроводных локальных сетей.

УДК 656.6.08

Д. А. Акмайкин,
канд. физ.-мат. наук, доц.

С. Ф. Ключева,
канд. техн. наук

П. А. Салюк,
канд. физ.-мат. наук, доц.

ПРОЕКТ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ МОРСКИХ СУДОВ

OPERATIONAL SYSTEM DESIGN ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF MARITIME TRAFFIC

Рассмотрен проект информационной телекоммуникационной системы управления и навигации морских судов. Разрабатываемая система объединяет судовую и береговую программно-аппаратные комплексы и предназначена для оптимизации маршрута судна на основе оперативных спутниковых данных о параметрах атмосферы и океана, а также прогноза гидрометеорологической обстановки. Описаны структурные компоненты системы, выполняемые функции и проблемы, связанные с решением поставленных задач.

В рамках реализации проекта разработано устройство для определения состояния морской поверхности, которое запатентовано и успешно прошло натурные испытания в заливе Петра Великого. Разрабатываемая система позволит улучшить безопасность мореплавания и снизить экономические издержки при морских перевозках. Система будет востребована различными судоходными компаниями и частными судовладельцами.

This paper presents project of marine vessel navigation and control telecommunication system. Described system is based on integration of on-board and coastal appliance and is intended to optimize ship route using satellite data on ocean and atmosphere and hydrometeorological forecast. Paper describes structural components of the system, its performed functions and associated problems. The project developed a device for determining the condition of the sea surface, which is patented and successfully passed field tests in the Gulf of Peter the Great. The developed system will improve maritime safety and reduce the economic costs of maritime transport. The system will be in demand by various shipping companies and private shipowners.

Ключевые слова: навигация, информационная телекоммуникационная система, навигация морских судов, оптимизации маршрута, компоненты системы, береговая система, бортовая система, состояние морской поверхности, безопасность мореплавания.

Key words: navigation, control telecommunication system, marine vessel navigation, route optimization, components of the system, coastal system, onboard system, the state of the sea surface, safety of navigation.

В СООТВЕТСТВИИ с основными тенденциями развития глобальной стратегической программы e-Navigation и планами Международной морской организации (ИМО) разработка и создание автоматизированных и информационных систем сбора, анализа и передачи информации на борту судна (бортовые автоматизированные информационные системы) и береговых систем (береговые автоматизированные информационные системы навигации) является важнейшей задачей по реализации нового поколения технологии навигации [1]. В рамках этой программы Морским государственным университетом им. адм. Г. И. Невельского совместно с Дальневосточным отделением Российской академии наук ведется разработка концептуального проекта информационной телекоммуникационной системы управления и навигации «Солярис» (ИТС «Солярис»). Проект основан на современных гибких методологиях проектирования и разработки ПО автоматизированных информационных систем навигации морских судов [2]–[4].

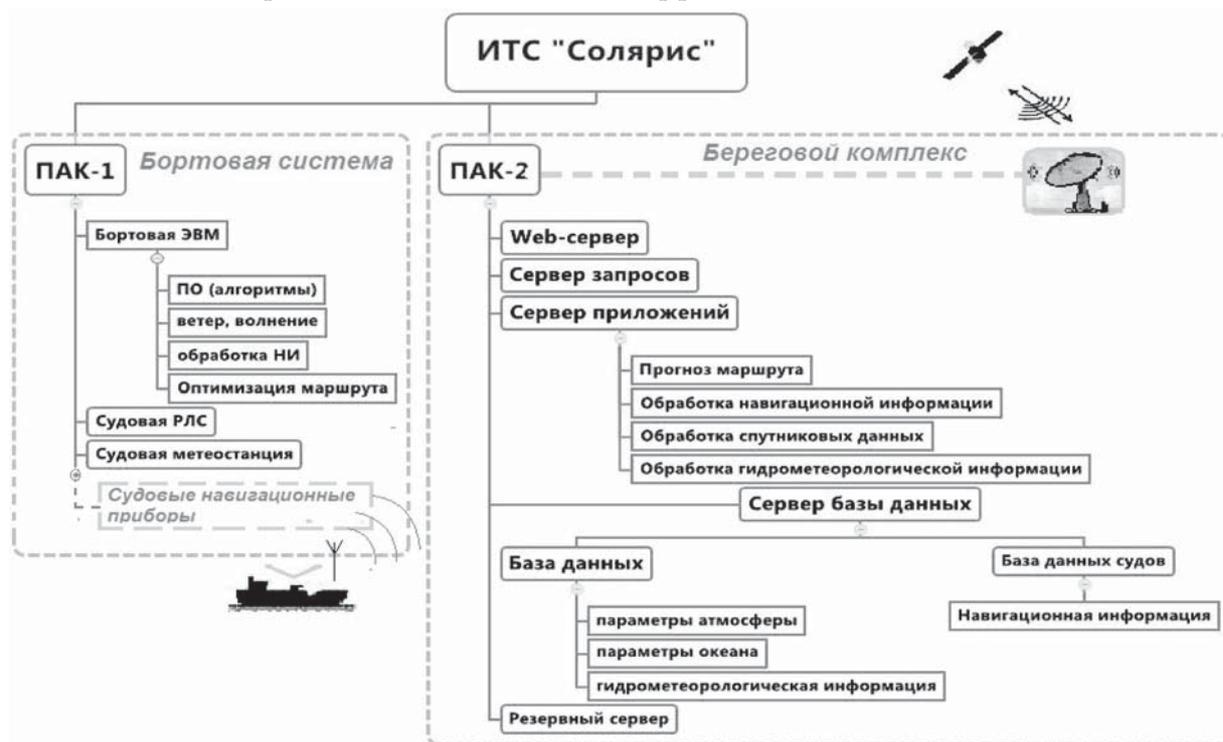
Отличительной особенностью разрабатываемой системы является оптимизация маршрута на основе оперативной, архивной судовой и спутниковой информации о гидрометеорологической обстановке вдоль маршрута судна. Система может быть использована при первоначальном планировании с учетом данных сезонной изменчивости течений, волнения, ветра и экспертных оценок стоимости эксплуатации, безопасности судоходства и иным факторам, влияющим на эффективность использования судна. Далее по мере движения и поступления новой оперативной информации, обрабатываемой и передаваемой ИТС «Солярис», возможна корректировка маршрута.

Информационная телекоммуникационная система представляет собой объединение двух видов программно-аппаратных комплексов (ПАК), один из которых устанавливается на судне, а другой — на берегу и решает следующие задачи [5]–[8]:

— автоматическое определение параметров ветра, волнения и других гидрометеорологических параметров вокруг судна для выдачи рекомендаций по управлению движением судна и оптимизации его движения при неблагоприятных сочетаниях курса и скорости судна и состояния окружающей среды;

— обработка, анализ и хранение спутниковых данных о параметрах атмосферы и океана для расчета и прогноза гидрометеорологической обстановки вдоль маршрута судна;

— анализ оперативной локальной и синоптической гидрометеорологической обстановки на маршруте судна для выдачи рекомендаций судоводителям по оптимизации движения с точки зрения безопасности мореплавания и экономической эффективности.



Структурная схема ИТС «Солярис»

Представленные задачи реализуются следующим образом.

1. Судовой программный комплекс основан на использовании штатной судовой радиолокационной станции, к которой подключены АЦП и компьютер с программным обеспечением, дополнительно может быть использована судовая метеостанция для повышения точности измерений [8]. В настоящее время разработано соответствующее устройство для определения состояния морской поверхности, которое запатентовано [9] и прошло натурные испытания в заливе Петра Великого. Данный подход позволяет дистанционно определять волнение вокруг судна, соответствующие методы радиолокационного зондирования хорошо проработаны, использование

штатного судового оборудования позволит увеличить надежность системы и снизить ее себестоимость. Другим подходом могло бы быть применение оптических детекторов с поляризационным каналом, однако их использование ограничено ночью и плохими погодными условиями, кроме этого они обладают меньшей надежностью.

Для создания судового комплекса необходима методика калибровки и настройки устанавливаемой АЦП, метеостанции, а также штатной судовой радиолокационной станции, при этом разрабатываются способы:

- определения высоты, скорости, периода и направления морского волнения по данным судовой метеостанции и штатной судовой радиолокационной станции;
- учета влияния метеорологических характеристик атмосферы на точность определения параметров морского волнения вокруг судна;
- расчета оптимальных параметров движения судна при неблагоприятных сочетаниях скорости судна, курсовых углов морского волнения и ветра;
- расчета траектории маневрирования судов при различных сочетаниях курсовых углов бега волн и скоростей судна.

2. Береговой программно-аппаратный комплекс предназначен для хранения, обработки, анализа, передачи спутниковых данных, судовой и аналитической информации. Это система, состоящая из кластера серверов, навигационной и специализированной аппаратуры, что позволяет реализовать отказоустойчивую систему [10], [11].

Для функционирования комплекса необходимо создать базу спутниковых данных параметров приводной атмосферы и гидросферы верхнего слоя морской поверхности в северо-западной части Тихого океана. База должна содержать:

- профили температуры и влажности атмосферы, позволяющие рассчитывать скорость и направление ветра;
- скорости поверхностных течений;
- сплоченность льда;
- дрейф льда в условиях сплошной облачности;
- зоны и направления сжатия льда; композиционные карты температуры поверхности океана (ТПО);
- основные элементы циркуляции океана — вихри и фронтальные течения синоптического масштаба; скорости приводного ветра и волнения.

В проекте реализована часть серверов и баз данных гидрометеорологических параметров в рамках программы «Дальневосточный плавучий университет», утвержденной решением ЮНЕСКО №ЮОС-XXII/3 от 30 июля 2003 года.

Следующий шаг создания системы ИТС «Солярис» — разработка [5]–[8]:

- алгоритма расчета полей ветра и морского волнения вдоль предполагаемого маршрута, по данным спутниковых скаттерометров;
- методики автоматического расчета направления и скорости течений по спутниковым изображениям океана, формируемым в видимом и ИК-диапазонах спектра, и альтиметров;
- метода расчета дрейфа льда в облачных условиях по микроволновым данным радиометра AMSR2;
- методики детектирования экстремальных погодных явлений по данным спутникового зондирования (штормовые ветра; высоты волн; ледовые поля; зоны сжатия льда; тропические циклоны).

ИТС «Солярис» в целом должна объединять судовой и береговой программно-аппаратные комплексы. На борту судна на основе оперативной и архивной спутниковой информации будут выдаваться рекомендации по прокладке судового маршрута с точки зрения обеспечения безопасности мореплавания и экономической эффективности.

Реализация данных задач включает создание:

- метода автоматизированной передачи спутниковой информации о гидрометеорологической обстановке вдоль маршрута судна между судовым и береговым комплексами ИТС «Солярис»;

- способа построения маршрута оптимального по времени прохождения дистанции и безопасности судоходства;
- способа расчета высоты и времени приливов и отливов по архивным и оперативным океанографическим, астрономическим и спутниковым данным;
- информационного портала обработки спутниковых данных о параметрах атмосферы и океана;
- тарифных планов пользования системой в зависимости от выбранных потребителем функциональных возможностей;
- оценки экономической эффективности разрабатываемой системы;
- судовых маршрутов в северо-западной части Тихого океана, на которых используемая система дает наибольшую выгоду;
- процедуры корректировки прогнозных карт береговой базы данных на основе данных о состоянии атмосферы и гидросферы, получаемых от судовых программно-аппаратных комплексов.

Таким образом, судовая часть ИТС «Солярис» может быть использована для автоматического предупреждения судоводителей о сочетании неблагоприятных параметров морского волнения, ветра и движения судна. Береговая часть на основе архивных и вновь поступающих оперативных и судовых данных, в том числе от других судов, находящихся в рассматриваемом районе, позволит строить оптимальные морские маршруты. Разрабатываемая система позволит повысить безопасность мореплавания и снизить экономические издержки при морских перевозках.

Список литературы

1. *Губернаторов С. С.* Навигация будущего — стратегическая программа e-Navigation / С. С. Губернаторов // Морской и речной транспорт. — 2014. — № 1. — С. 52–56.
2. *Кон М.* Scrum. Гибкая разработка ПО / Кон М. — М.: Вильямс, 2011. — 576 с.
3. *Мартин Р. С.* Быстрая разработка программ. Принципы, примеры, практика / Р. С. Мартин, Д. В. Ньюкирк, Р. С. Косс. — М.: Вильямс, 2004. — 752 с.
4. Манифест гибкой разработки программного обеспечения. [Электронный ресурс]. URL: <http://agilemanifesto.org/iso/ru/principles.html> (дата обращения: 25.12.2014).
5. *Акмайкин Д. А.* Обработка радиолокационной информации программно-аппаратными средствами / Д. А. Акмайкин, Д. Б. Хоменко, Д. В. Клюев, Е. С. Фалина // Автоматизация процессов управления. — 2012. — № 4. — С. 62–66.
6. *Хоменко Д. Б.* Использование программно-аппаратных средств в обработке радиолокационной информации / Д. Б. Хоменко // Сб. докл. 58-й науч.-техн. конф. «Молодежь — наука — инновации» (Владивосток 24–26 ноября 2010 г.). — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2010. — Т. 1. — С. 23–26.
7. *Хоменко Д. Б.* Учет динамических характеристик судов при маневрировании / Д. Б. Хоменко, Д. А. Акмайкин. // Сб. докл. XVI Intern. Conf. Modern Technique and Technologies (12–16 апреля 2010 г.). Томск: НИТПУ, 2010. — Т. 1. — С. 280–282.
8. *Akmaykin D. A.* Solaris' information system for ship's navigation, using operational analysis of shipboard and satellite remote sensing data of hydrosphere and atmosphere / D. A. Akmaykin, D. B. Homenko, P. A. Salyuk, I. E. Stepochkin, K. A. Smirko // SPIE Proceedings, Ocean Remote Sensing and Monitoring from Space. — 2014. — № 9261-41. — P. 1–10.
9. Устройство для определения состояния морской поверхности: пат. 2510040 Рос. Федерация. 2012125680; заявл. 19.07.12; опубл. 20.03.2014.
10. *Потресов Д. К.* Кластерная система компьютерной обработки данных высокой готовности / Д. К. Потресов, Д. В. Скоморохов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — № S5. — С. 128–133.
11. About GIS server clusters [Электронный ресурс] // ArcGIS Resources: [сайт]. URL: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//015400000418000000> (дата обращения: 25.12.2014).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Акмайкин Денис Александрович

Кандидат физико-математических наук, доцент
ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт
им. В. И. Ильичева Дальневосточного отделения
Российской академии наук
akmaykin@msun.ru

Андрианов Евгений Николаевич

Кандидат технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
fkt_pt@gumrf.ru

Башмаков Алексей Васильевич

Кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
abashm@mail.ru

Безпальчук Сергей Николаевич

Инженер
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский
государственный политехнический университет»
ua1aes@mail.ru

Ботнарюк Марина Владимировна

Кандидат экономических наук, доцент
ФГБОУ ВПО «ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова»
mia-marry@mail.ru

Буцанец Артем Александрович

Начальник отдела НТИ и ИС
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
govorlivii@gmail.com

Бырбыткин Андрей Александрович

Аспирант
Научный руководитель: Курошева Галина
Михайловна, доктор экономических наук,
профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
vodenoyspb@mail.ru

Вербило Олег Михайлович

Соискатель
Научный руководитель: Степанов Андрей Львович,
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
8069026@inbox.ru

Веселков Вячеслав Васильевич

Доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
VeselkovVV@gumrf.ru

Водахова Валентина Аркадьевна

Кандидат физико-математических наук, доцент
ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский
государственный университет им. Х. М. Бербекова»
ktffa_kbgu@mail.ru

Головченко Борис Сергеевич

Аспирант
Научный руководитель: Гриняк Виктор
Михайлович, кандидат технических наук, доцент
Владивостокский государственный университет
экономики и сервиса (ВГУЭС)
Boris.Golovchenko@vvsu.ru

Григорьев Андрей Владимирович

Кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
a.grigorev@eds-marine.ru

Гриняк Виктор Михайлович

Кандидат технических наук, доцент
Дальневосточный федеральный университет
(ДВФУ)
Victor.Grinyak@gmail.com

Гуляевский Сергей Евгеньевич

Кандидат экономических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
univer-help@yandex.ru

Девятисильный Александр Сергеевич

Доктор технических наук, профессор
Институт автоматизации и процессов управления
ДВО РАН (ИАПУ ДВО РАН)
devyatis@iacp.dvo.ru

Ефимов Константин Иванович

Аспирант
Научный руководитель: Некрасов Сергей
Николаевич, доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
kiefimov@gmail.com

Железняк Александр Александрович

Старший преподаватель
Керченский государственный морской
технологический университет
Zheleznyak13@mail.ru

Жиленков Антон Александрович

Кандидат технических наук,
старший преподаватель
Керченский государственный морской
технологический университет
zhilenkovanton@gmail.com

Иванов Анатолий Николаевич

Кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
fkt_pt@gumrf.ru

Иванова Мария Борисовна

Кандидат экономических наук, доцент
ФГБОУ ВПО «ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова»
max-ivanov@mail.ru

Кайгородов Андрей Викторович

Генеральный директор
ООО «Инвестиционный торговый дом»
Spb.info@mail.ru

Кайзер Адам

Преподаватель
Польская Морская Академия, Гдыня
thunder1950@yandex.ru

Караваев Василий Игоревич

Кандидат технических наук, аналитик
ЗАО «Степ Пазл»
K_v_i@mail.ru

Караваева Елена Дмитриевна

Кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
Karavaeva_ed@mail.ru

Каракаев Александр Бахтыреевич

Доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
a.karakaev@gma.ru

Клюева Светлана Федоровна

Кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г. И. Невельского»
klsvetlkl@gmail.com»

Кобец Мария Александровна

Инженер-конструктор 3-ей категории
ЗАО Спецсудопроект
Научный руководитель: Веселков Вячеслав
Васильевич, доктор технических наук, профессор
leska-korn@rambler.ru

Ковалева Екатерина Николаевна

Старший преподаватель
Научный руководитель: Королева Елена
Арсентьевна, доктор экономических наук,
профессор
Котласский филиал ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
dimarxkot@yandex.ru

Колесниченко Виталий Юрьевич

Аспирант
Научный руководитель: Григорьев Андрей
Владимирович, кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
ni-hm@mail.ru

Королев Владимир Ильич

Кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
vlikor2007@yandex.ru

Королева Елена Арсентьевна

Доктор экономических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
Kaf_logistics@gumrf.ru

Кузнецов Александр Львович

Доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
thunder1950@yandex.ru

Ластовцев Алексей Юрьевич

Кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
lastovcev@mail.ru, LastovcevAJ@gumrf.ru

Лепехина Юлия Александровна

Кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВПО «ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова»
rew777@yandex.ru

Львов Владимир Евгеньевич

Ассистент
Одесская Национальная Морская Академия,
Украина
VolodymyrLvov@yahoo.com

Макшанов Андрей Владимирович

Доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
kaf_vsi@gumrf.ru

Марлей Владимир Евгеньевич

Доктор технических наук, старший научный
сотрудник
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
MarleyVE@gumrf.ru

Некрасов Сергей Николаевич

Доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
snn00707@rambler.ru

Олейник Андрей Юрьевич

Аспирант
Научный руководитель: Марлей Владимир
Евгеньевич, доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала

С. О. Макарова»
oleynik89@gmail.com

Петров Владимир Маркович

Доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский
государственный политехнический университет»
tribotex@narod.ru

Пластинин Андрей Евгеньевич

Кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО Волжская государственная академия
водного транспорта
plastininae@yandex.ru

Салюк Павел Анатольевич

Кандидат физико-математических наук,
заведующий лабораторией
ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения
Российской академии наук
pavel.salyuk@gmail.com

Саушев Александр Васильевич

Кандидат технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
saushev@bk.ru, ep-gumrf@bk.ru

Соляков Олег Владимирович

Кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
solyakov1@yandex.ru

Трененков Дмитрий Валерьевич

Аспирант
Научный руководитель: Некрасов Сергей
Николаевич, доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
trenenkov_d@mail.ru

Филатова Евгения Валентиновна

Кандидат экономических наук, старший
преподаватель
ФГБОУ ВПО «ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова»
makashinaevg@mail.ru

Фирсов Юрий Георгиевич

Кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
gidrograph@mail.ru

Хлюпин Леонид Алексеевич

Кандидат технических наук, старший научный
сотрудник
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
Leonid-Khlupin@yandex.ru

Хохлов Евгений Сергеевич

Аспирант
Научный руководитель: Каракаев Александр
Бахтыреевич, доктор технических наук,
профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
elengkhokhlovevgeny@gmail.com

Чепалис Иван Васильевич

Аспирант
Научный руководитель: Козьминых Николай
Анатольевич, кандидат технических наук, доцент
trunonma@gmail.com
Одесская национальная морская академия
chepalis@mail.ru

Черный Сергей Григорьевич

Кандидат технических наук, доцент
Керченский государственный морской
технологический университет
sergiiblack@gmail.com

Шахнов Сергей Федорович

Кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
sfshah@yandex.ru

Ширунов Гурий Николаевич

Кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
guriyn@mail.ru

Научное периодическое издание

**Вестник Государственного университета морского
и речного флота имени адмирала С. О. Макарова**

Выпуск 1 (29)

2015 год

Выпускающие редакторы
Е. А. Юдакова, Н. А. Карамзина, Т. В. Середова
Дизайн и верстка М. Н. Евсюткина
Технический редактор Е. И. Тюленева

Подписано в печать с оригинал-макета 26.02.15. Формат 60x90/8
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 29,5. Тираж 500 экз. Заказ № 98/2015

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7