

ВЕСТНИК

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

Выпуск 6 (28)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- С. О. Барышников, д.т.н., проф. (*главный редактор*) • Т. А. Пантина, д.э.н., проф. (*зам. гл. редактора*)
- О. К. Безюков, д.т.н., проф. • В. В. Веселков, д.т.н., проф. • П. А. Гарибин, д.т.н., проф.
- Д. П. Голоскоков, д.т.н., проф. • Б. П. Ивченко, д.т.н., проф. • Ю. М. Искандеров, д.т.н., проф.
- О. Г. Каратаев, д.т.н., проф. • А. В. Кириченко, д.т.н., проф. • М. А. Колосов, д.т.н., проф.
- Е. А. Королева, д.э.н., проф. • И. И. Костылев, д.т.н., проф. • Е. А. Лаврентьева, д.э.н., проф.
- А. Ю. Ластовцев, к.т.н., проф. • С. Б. Лебедев, д.э.н., проф. • В. А. Логиновский, д.т.н., проф.
- Г. В. Макаров, д.т.н., проф. • В. Е. Марлей, д.т.н., проф. • А. М. Никитин, д.т.н., проф.
- А. П. Нырков, д.т.н., проф. • Л. И. Погодаев, д.т.н., проф. • Н. В. Растрьгин, к.т.н., доц.
- В. И. Решняк, д.т.н., проф. • В. В. Романовский, д.т.н., проф. • А. А. Сикарев, д.т.н., проф.
- И. П. Скобелева, д.э.н., проф. • С. В. Смоленцев, д.т.н., проф. • А. Л. Степанов, д.т.н., проф.
- М. В. Сухотерин, д.т.н., проф. • Е. Г. Трунин, к.э.н., директор РРР • Г. В. Ушакова, к.и.н., проф.
- В. И. Черненко, д.т.н., проф. • В. Б. Чистов, д.т.н., проф.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

- Ю. Н. Горбачев — генеральный конструктор ОАО «Инженерный центр судостроения», д.т.н., проф.
- С. Гуцма — ректор Морской академии (г. Щецин, Польша), д.т.н., проф.
- Г. В. Егоров — генеральный директор ЗАО «Морское инженерное бюро — СПб», д.т.н., проф.
- Ф. В. Кармазинов — генеральный директор ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», 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

Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2014. — Вып. 6. — 203 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 следующим основным направлениям: **судовождение и безопасность на водном транспорте; судовые энергетические установки, системы и устройства; судостроение и судоремонт; водные пути, гидротехнические сооружения и порты; логистика и транспортные технологии; экономика и управление на транспорте; экология и охрана окружающей среды; информационные технологии; международное морское право.**

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: 37276.



Уважаемые коллеги!



*Редакционная коллегия и редакционный совет
журнала «Вестник Государственного
университета имени адмирала С.О. Макарова»
поздравляет вас с Новым Годом и Рождеством!*

*Несомненно, уходящий год подарил
много радостных и грустных перемен.*

*Новый год — это возможность начать все сначала
или продолжить начатое в прошлом году.*

*От всей души и сердца желаем
в наступающем Новом Году, чтобы всегда
сопутствовала удача и сопровождал успех в любом деле.
Пусть 2015 год принесет в ваш дом счастье, радость,
здоровье и удовлетворение
в профессиональной деятельности!*



**Перечень специальностей и направлений подготовки
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»
объявленных на 2015/2016 к приему на обучение**

Подготовка бакалавров

	Наименование направления подготовки	Код направления подготовки	по очной форме		по заочной форме (квалификация «академический бакалавр»)
			квалификация «академический бакалавр»	квалификация «прикладной бакалавр»	
1	Прикладная математика и информатика	01.03.02	+	-	-
2	Строительство	08.03.01	+	+	+
3	Информационные системы и технологии	09.03.02	+	+	-
4	Прикладная информатика	09.03.03	+	-	-
5	Информационная безопасность	10.03.01	+	-	-
6	Электроэнергетика и электротехника	13.03.02	+	-	+
7	Природообустройство и водопользование	20.03.02	0	-	+
8	Технология транспортных процессов	23.03.01	+	-	+
9	Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов	23.03.03	+	-	+
10	Управление водным транспортом и гидрографическое обеспечение судоходства – Управление водными и мультимодальными перевозками	26.03.01	+	-	+
11	Управление водным транспортом и гидрографическое обеспечение судоходства – Гидрографическое обеспечение мореплавания морских инженерных изысканий	26.03.01	+	-	+
12	Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры	26.03.02	+	+	-
13	Экономика	38.03.01	+	-	0
14	Менеджмент	38.03.02	+	-	-
15	Государственное и муниципальное управление	38.03.04	0	-	0
16	Юриспруденция – Общий профиль		+		+
17	Юриспруденция – Правовое обеспечение деятельности водного транспорта	40.03.01	+	-	+
18	Туризм	43.03.02	+	-	-

Подготовка специалистов

	Наименование специальностей подготовки	Код направления подготовки	по очной форме	по заочной форме
19	Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования	25.05.03	+	-
20	Судовождение	26.05.05	+	+
21	Эксплуатация судовых энергетических установок	26.05.06	+	+
22	Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики	26.05.07	+	+
23	Информационная безопасность автоматизированных систем	10.05.03	+	-

Подготовка магистров

	Наименование направлений подготовки магистров	Код направления подготовки	по очной форме	по заочной форме
1.	Строительство*			
2.	Информационные системы и технологии*			
3.	Информационная безопасность*			
4.	Природообустройство и водопользование*			
5.	Технология транспортных процессов*			
6.	Управление водным транспортом и гидрографическое обеспечение судоходства			
7.	Кораблестроение, океанотехника и системотехника			
8.	Экономика			
9.	Менеджмент			
10.	Юриспруденция*			

+ есть прием на бюджет и на платной основе

- приема нет

0 есть прием только на платной основе

* Прием будет объявлен в случае получения лицензии в срок до 01.06.2015

СОДЕРЖАНИЕ

СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ 9

<i>Бурмака И. А., Булгаков А. Ю.</i> Управление группой судов в ситуации опасного сближения	9
<i>Некрасов С. Н., Ефимов К. И., Трененков Д. В.</i> Навигационные риски буксировки судна в стесненных навигационных условиях	13
<i>Решняк В. И., Щуров А. Г., Витязева О. В.</i> Профессиональная деятельность работников флота в условиях хронофизиологической адаптации	20
<i>Шахнов С. Ф.</i> К расчету помехозащищенности радиоканалов речной локальной дифференциальной подсистемы при использовании детерминированных сигналов и взаимных помех	24

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА 31

<i>Безюков О. К., Жуков В. А., Яценко О. И.</i> Газомоторное топливо на водном транспорте	31
<i>Григорьев А. В. Колесниченко В. Ю.</i> Повышение эффективности эксплуатации судовых дизельных электростанций	39
<i>Каракаев А. Б., Луканин А. В.</i> Методические вопросы синтеза контролепригодности размещения компонентов объекта в конструктивных единицах ограниченного объема по минимуму точек контроля	44
<i>Николаев Н. И., Герасиди В. В., Лисаченко А. В.</i> Анализ экспериментальных данных по нагрузкам современных высокооборотных двигателей САТ 3500 серии морских буксиров	49
<i>Романовский В. В., Лебедев А. И., Гостев А. Г.</i> Качество электроэнергии гребных электрических установок судов ледового плавания и ледоколов	56
<i>Труднев С. Ю.</i> Исследование параллельной работы шим-инвертора и однофазной сети	60

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ 67

<i>Белецкий Е. Н.</i> Моделирование процесса силового взаимодействия инструмента при механической обработке заготовок ответственных деталей из композиционных углепластиков, применяемых в судостроении	67
<i>Марченко А. А., Портнягин Н. Н.</i> Энергоэффективное нагружение асинхронных электродвигателей в процессе послеремонтных испытаний	76
<i>Алиев Ч. М.</i> Методика эксплуатационных испытаний дизельных двигателей с гильзами, имеющими антикавитационные покрытия	84
<i>Москаленко М. А., Субботин З. М., Захарина Л. В.</i> Оценка эффективности модернизации корпуса морских судов малой тоннажной группы	88
<i>Романова Е. А., Романов А. Д.</i> Разработка учебного парусного судна для внутренних водных путей	95

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.

ВОДНЫЕ ПУТИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И ПОРТЫ	102
<i>Воробьев А. Е.</i> Основы механизма эффективного применения промышленных нанотехнологий при добыче аквальных газогидратов	102
<i>Савчук В. Д., Клименко Е. Н., Крат И. П.</i> Определение массы погруженного в трюм навалочного груза с использованием лазерных дальномеров	109
<i>Фирсов Ю. Г., Иванов М. В., Колосков Е. Н.</i> Новый этап батиметрических исследований северных акваторий России на примере Карского моря	115
<i>Хлюпин Л. А.</i> Причальные устройства для заправки судов сжиженным природным газом	125
ЛОГИСТИКА И ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	129
<i>Адамов Е. И., Отделкин Н. С., Сикарев С. Н.</i> Устройства, снижающие потери сыпучих грузов при перегрузке рейферными кранами	129
<i>Железкова П. Е., Никифоров В. Г.</i> Грузооборот портов Северо-Западного региона России на Балтийском море	133
<i>Скобелева И. П.</i> Стейкхолдеры — носители стратегических факторов успеха современных транспортных корпораций	139
<i>Ерофеев В. Л., Ерофеева Е. В.</i> Практика и проблемы оценки энергетической эффективности объектов инфраструктуры водного транспорта	143
ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ	155
<i>Ботнарчук М. В.</i> Российский рынок стивидорных услуг и особенности его развития на современном этапе	155
<i>Еникеева Л. А., Торосян Е. К., Фейлинг Т. Б.</i> Формирование стратегий развития морского и речного транспорта РФ на фоне кризисных процессов в условиях глобальной нестабильности мировых экономических систем	163
<i>Пушкарева Л. В.</i> Анализ и прогноз грузовых перевозок морским транспортом в России	173
<i>Малько А. В.</i> Исследование сектора судостроения и судоремонта Турции как части морского транспортного бизнес кластера Черного и Мраморного моря	179
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	185
<i>Белоусов А. С.</i> Алгоритмическое обеспечение функционирования мультисервисных сетей транспортной отрасли	185
<i>Мальцев В. А.</i> Применение метода конечных элементов к расчету напряженно-деформированного состояния палубных перекрытий контейнеровоза	190

CONTENST

NAVIGATION AND SAFETY ON WATER TRANSPORT	9
<i>Burmaka I. A., Bulgakov A. YU.</i> Management of the group of vessel in the situation of dangerous approach	9
<i>Nekrasov S. N., Yefimov K. I., Trenenkov D. V.</i> Navigation risks towing in cramped navigational conditions	13
<i>Reshnyak V. I., Shchurov A. G., Vityazeva O. V.</i> Professional activities of fleet workers in conditions of chronophysiological adaptation	20
<i>Shakhnov S. F.</i> To calculation of the noise-protection of the radio channels of river lds with the use of the deterministic signals and mutual disturbances	24
SHIP POWER PLANTS, SYSTEMS AND DEVICE	31
<i>Bezyukov O. K., Zhukov V. A., Yashchenko O. I.</i> Dual-fuel engines on water transport	31
<i>Grigor'yev A. V., Kolesnichenko V. Yu.</i> Improving the efficiency of marine diesel power plants	39
<i>Karakayev A. B., Lukanin A. V.</i> Methodical questions of controllability synthesis in terms of object components placement in limited volume constructive units by control points minimum	44
<i>Nikolayev N. I., Gerasidi V. V., Lisachenko A. V.</i> Modern high-speed engines CAT 3500 series of marine tugs analysis of loads experimental data	49
<i>Romanovskiy V. V., Lebedev A. I., Gostev A. G.</i> Electricity quality of rowing electrical installations of ice ships and icebreakers	56
<i>Trudnev S. YU.</i> Research of parallel work of PWM inverter and single-phase network	60
SHIPBUILDING AND SHIP REPAIR	67
<i>Beletskiy Ye. N.</i> Modeling of the process of force interaction of the tool in the machining of workpieces critical parts made of composite plastics used in shipbuilding	67
<i>Marchenko A. A., Portnyagin N. N.</i> Power effective loading of asynchronous electric motors in the course of postrepair tests	76
<i>Aliyev Ch. M.</i> Method of explotative tests üith diesel engines and shells having anti-cavitation coating	84
<i>Moskalenko M. A., Subbotin Z. M., Zakharina L. V.</i> Assessment of the effective feasibility modernization of hull marine vessels of small tonnage	88
<i>Romanova Ye. A., Romanov A. D.</i> Development of the training sailing ship for internal waterways	95
WATERWAYS, WATERWORKS AND PORTS	102
<i>Vorob'yev A. Ye.</i> Bases of the mechanism of effective application of industrial nanotechnologies at production of aquatic gas-hydrates	102
<i>Savchuk V. D., Klimenko Ye. N., Krat I. P.</i> The calculation of the weight of the bulk loaded into the hold with the use of laser rangefinders	109

<i>Firsov Yu. G., Ivanov M. V., Koloskov Ye. N.</i> The new stage of the Russian northern basins bathymetric investigations - Kara sea example	115
<i>Khlyupin L. A.</i> Mooring facilities for refueling of vessels liquefied natural gas	125
LOGISTICS AND TRANSPORT TECHNOLOGY	129
<i>Adamov Ye. I., Otdelkin N. S., Sikarev S. N.</i> Device reduces losses in bulk cargo reloading grabbing crane	129
<i>Zhelezkova P. Ye., Nikiforov V. G.</i> Cargo turnover ports of northwest region Russia on the Baltic sea	133
<i>Skobeleva I. P.</i> Stakeholders as carriers of strategic succes factors of modern transport corporation	139
<i>Yerofeyev V. L., Yerofeyeva Ye. V.</i> Practice and problems of estimating the energy efficiency of water transport infrastructure	143
ECONOMICS AND MANAGEMENT OF THE TRANSPORT	155
<i>Botnaryuk M. V.</i> The Russian market of stevedoring services and features of its development at present stage	155
<i>Yenikeyeva L. A., Torosyan Ye. K., Feyling T. B.</i> Formation of the strategies for development of sea and river transport of the Russian Federation against a background of crisis processes in the context of global instability of the world economic systems	163
<i>Pushkareva L. V.</i> The analysis and the forecast of freight transportation by sea transport Russia	173
<i>Mal'ko A. V.</i> Ship repair and shipbuilding sector of Turkey as a part of the Black sea and the Marmara sea maritime transport business cluster	179
INFORMATION TECHNOLOGY	185
<i>Belousov A. S.</i> Algorithmic support the operation of multi-service networks of the transport industry	185
<i>Mal'tsev V. A.</i> The use of finite element method to calculate the stress-strain state of containership deck grillage	190

СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

УДК 656.61.052.484

И. А. Бурмака,
канд. техн. наук, доцент,
Одесская национальная морская академия;

А. Ю. Булгаков,
ассистент,
Одесская национальная морская академия

УПРАВЛЕНИЕ ГРУППОЙ СУДОВ В СИТУАЦИИ ОПАСНОГО СБЛИЖЕНИЯ

MANAGEMENT OF THE GROUP OF VESSEL IN THE SITUATION OF DANGEROUS APPROACH

Рассмотрены основные вопросы управления группой судов в ситуации опасного сближения с помощью систем управления движением судов. Предложена процедура формирования группы взаимодействующих судов с помощью методов n-управляемых динамических систем, для чего рассмотрены ситуационные возмущения, возникающие между судами, которые являются элементами матрицы возмущения. Показано, что при компенсации ситуационного возмущения пары судов, характеризуемого элементом матрицы возмущения, возможна реализация одного из тех типов парной стратегии расхождения, когда маневр осуществляется одним из судов при неизменных параметрах движения другого и при одновременном маневре обоих судов. Приведен способ формирования стратегии компенсации возникающих ситуационных возмущений, минимизирующий число маневрирующих судов с обеспечением максимального уровня безопасности процесса расхождения.

The basic questions of management of the group of vessels in the situation of dangerous approach by the vessel traffic control systems are considered. The intensity of situational disturbances is connected with the areas of mutual responsibilities of interacting vessels and the choice of dual strategies of divergence is determined by the corresponding element of disturbance matrix. It is shown that in case of compensation of situational disturbance between two vessels, which is characterized by the disturbance matrix element, it is possible to implement one of those types of dual divergence strategies when the maneuver is done by one vessel with the same motion parameters of the other and when the maneuver is simultaneously done by both vessels. The method of creating the compensation strategy of situational disturbances arising between vessels, which minimizes the quantity of maneuvering ships providing best safety level of the divergence process, was shown.

*Ключевые слова: предупреждение столкновений, ситуационное возмущение, стратегия расхождения.
Key words: warning of collisions, situation indignation, strategy of divergence.*

ОДНОЙ из важнейших проблем судовождения при плавании судов в стесненных условиях является проблема предупреждения столкновений судов, решению различных аспектов которой посвящены многочисленные работы ученых из разных стран [1] – [12]. Так, в работе [1] предпринята попытка решения задачи расхождения судов методами теории оптимальных дискретных процессов. В работе [2] на начальном этапе исследований рассматривается концепция формализации процесса расхождения судна с несколькими целями методами теории оптимального управления с учетом требований МППСС-72, дальнейшее развитие которой нашло свое отражение в работе [3] и производилось в направлении использования методов позиционных дифференциально-разностных игр. Работы [4], [5] посвящены применению метода нелинейной интегральной инвариантности для описания процесса расхождения судов и создания системы предупреждения их столкновений.

Подход к решению задачи выбора оптимального маневра судна при расхождении методами теории оптимальных дискретных процессов предложен сотрудниками Томского университета А. М. Куликовым и В. В. Поддубным в работе [6]. Безопасное расхождение судна в стесненных условиях маневром изменения скорости и расчет его параметров рассмотрены в работах [7], [8]. В работе [9] отмечается, что повышение эффективности предотвращения столкновений в настоящее время может достигаться созданием как новых алгоритмов, так и интеллектуальных систем. В работе для расхождения применяется одна стратегия – смещение на параллельную линию пути под тем или иным углом к линии исходного курса. Из множества возможных вариантов такой стратегии находится оптимальная по критерию, отражающему требования к безопасности, заблаговременности, заметности и экономичности маневра для предотвращения столкновения.

Понимание содержания автономной судовой системы уклонения от столкновения СА (Collision avoidance) и ее теоретическое обоснование дано в работе [10]. Совместно с алгоритмом по уклонению от столкновения дополнительно рассмотрены познавательные возможности человека и Правила уклонения от столкновения COLREG. С учетом факторов, влияющих на процесс уклонения от столкновения, рассматриваются требования к автономной навигации. Эти факторы способен оценить человек, осуществляя управление судном на удовлетворительном уровне, однако принятые решения являются субъективными и могут быть ошибочными, в результате чего может произойти столкновение.

Исследования по автоматизации управления судном могут быть представлены в классической или компьютерной категории. Классическая техника основана на математических моделях и алгоритмах. Программы основаны на использовании искусственного интеллекта AI (Artificial Intelligence). Областью AI для систем автономного уклонения от столкновения, рассматриваемых в статье, являются эволюционные алгоритмы, логика фuzzi (*Fuzzi Logic*), экспертные методы, нейросеть NN (Neural Networks) и комбинация этих методов – гибридные системы (Hybrid System).

В работе [11] рассматриваются игровые подходы в навигационных математических моделях безопасного управления судами, а также обсуждается приложение методов теории игр для автоматизации регулирования процессов перемещения судов. Приведено определение понятия контрольной цели, описание базовой и аппроксимированной моделей многоступенчатой позиционной многошаговой матричной игры безопасного управления судна в ситуациях опасного сближения. В работе [12] с помощью методов n -управляемых динамических систем разработан аналитический аппарат теории гибких стратегий расхождения судов, учитывающий существенные факторы, влияющие на процесс расхождения.

Целью статьи является выявление принципов управления группой судов в ситуации возникновения угрозы столкновения с помощью систем безопасного управления движением судов.

Множество опасно сближающихся судов целесообразно описать как динамическую n -управляемую систему Σ_{ns} [12]. Наличие и степень опасности столкновения пары судов формализуется понятием ситуационного возмущения ω_{ij} , природа которого заключена в прогнозируемом попадании судов в область недопустимых позиций. Взаимодействие всего множества судов характеризуется матрицей ситуационного возмущения W_{bn} , элементом которой является характеристика ситуационного возмущения ω_{ij} .

Ситуационное возмущение переводит динамическую систему Σ_{ns} из невозмущенного системного состояния в возмущенное. Общая стратегия компенсации ситуационного возмущения предусматривает перевод динамической системы Σ_{ns} в начальное невозмущенное состояние путем уничтожения в структуре системы связей взаимодействия между судами, возникающими в результате опасного сближения.

Рассмотрим управление динамической системы Σ_{ns} внешним управленцем Ξ (полное управление), который наблюдает матрицу W_{bn} и при наличии ситуационного возмущения переводит динамическую систему в невозмущенное состояние общей стратегией, включающей необходимое минимальное число управлений судами матрицы. Таким управленцем может быть система

управления движением судов (СУДС), которая по матрице ситуационного возмущения W_{bn} определяет общую стратегию расхождения $G_n = \{g_1, g_2, \dots, g_i, \dots, g_n\}$, состоящую из стратегий g_i судов динамической системы Σ_{ns} , а затем каждому из взаимодействующих судов сообщается его частная стратегия как компонента общей. Все взаимодействующие суда реализуют предписанные частные стратегии g_i , в результате чего опасность столкновения между судами системы исчезает. Очевидно, что развитие принципов полного управления динамической системой Σ_{ns} внешним управленцем Ξ является одним из наиболее перспективных направлений снижения аварийности в стесненных условиях плавания.

Предположим, в стесненном районе плавания имеется некоторое конечное множество судов Mn_0 , из которого необходимо сформировать динамическую систему Σ_{ns} , число судов которой равно или меньше числа судов исходного множества Mn_0 , т.е. $\Sigma_{ns} \subseteq Mn_0$. Так как суда множества перемещаются и их относительные позиции изменяются, структура динамической системы Σ_{ns} и матрица ситуационного возмущения W_{bn} являются функцией времени t , т.е. $\Sigma_{ns}(t)$ и $W_{bn}(t)$. С учетом того, что структура динамической системы Σ_{ns} изменяется во времени, управление системой Σ_{ns} требует наблюдения за ее состоянием (структурой и матрицей W_{bn}) в некоторый момент времени t_n и прогноза состояния в течение некоторого интервала времени Δt_n при условии, что все не зависящие от времени характеристики системы остаются неизменными в течение данного интервала времени. Поэтому предполагается, что группа судов, составляющая динамическую систему Σ_{ns} , в момент времени наблюдения t_n сохраняется в течение интервала времени Δt_n , а в очередной момент времени наблюдения $t_n + \Delta t_n$ осуществляется контроль структуры системы Σ_{ns} и матрицы ситуационного возмущения.

Если внешним управленцем является СУДС, то основным принципом выделения группы взаимодействующих судов является учет их близости к СУДС, которым предписывается некоторый район S_c контроля и управления движущихся судов. Группой взаимодействующих судов являются суда, находящиеся в районе контроля и управления S_c и опасно сближающиеся с другими судами системы Σ_{ns} . В этом случае размерность матрицы ситуационного возмущения W_{bn} определяется числом судов, находящихся в районе S_c , а элементы матрицы, т.е. парные ситуационные возмущения судов, находятся по их относительным позициям и параметрам движения. Если судно покидает район S_c , то оно исключается из группы взаимодействующих судов, а если, наоборот, входит в район S_c , то оно включается в динамическую систему Σ_{ns} . Относительное положение каждой пары судов и их параметры движения характеризуют ситуацию S_i , возникающую для пары судов.

Для декомпозиции подмножества ситуаций опасного сближения S_ω целесообразно, применив Правило 17 МППСС-72) [11], разбить подмножество S_ω на три области: $S_{\omega 1}$, $S_{\omega 2}$ и $S_{\omega 3}$, так называемые области взаимных обязанностей. Причем ситуационные возмущения характеризуют принадлежность ситуации в начальный момент обнаружения опасного сближения к одной из областей $S_{\omega i}$.

Интенсивность ситуационного возмущения ω_{ij} связана с областями взаимных обязанностей следующим образом:

$$\omega_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{при } S_i \in S_S; \\ 1, & \text{при } S_i \in S_{\omega 1}; \\ 2, & \text{при } S_i \in S_{\omega 2}; \\ 3, & \text{при } S_i \in S_{\omega 3}, \end{cases}$$

где S_S – подмножество безопасных ситуаций.

Если в матрице ситуационного возмущения W_{bn} имеются элементы ω_{ij} , отличные от нуля, то для соответствующей пары судов s_i и s_j существует угроза столкновения, предотвращение которой (компенсация ситуационного возмущения) требует выбора стратегии расхождения $g_{ij} = \{g_i, g_j\}$. В общем случае парная стратегия расхождения g_{ij} предусматривает маневры каждого из взаимодействующих судов g_i и g_j , однако ситуационное возмущение может быть компенсировано манев-

ром одного из судов при неизменных параметрах движения другого, т.е. (g_i, g_{j0}) или (g_{i0}, g_j) . Таким образом, стратегия расхождения пары судов g_{ij} может быть реализована одной из трех составных стратегий. Следовательно, $g_{ij} = \{(g_i, g_j) \wedge (g_i, g_{j0}) \wedge (g_{i0}, g_j)\}$.

Если в матрице ситуационного возмущения W_{bn} имеются ненулевые элементы ω_{ij} в одной строке или в одном столбце, это означает, что одно из судов одновременно опасно сближается с несколькими другими судами. Допустим, матрица W_{bn} содержит элементы ω_{ij} , ω_{ik} и ω_{is} . Это означает, что судно c_i опасно сближается с судами c_j , c_k и c_s , причем $\omega_{jk} = 0$, $\omega_{js} = 0$ и $\omega_{ks} = 0$. Поэтому компенсация ситуационных возмущений ω_{ij} , ω_{ik} и ω_{is} возможна с применением стратегий $g_{ij} = \{(g_i, g_j) \wedge (g_i^{(j)}, g_{j0}) \wedge (g_{i0}, g_j)\}$, $g_{ik} = \{(g_i, g_k) \wedge (g_i^{(k)}, g_{k0}) \wedge (g_{i0}, g_k)\}$ и $g_{is} = \{(g_i, g_s) \wedge (g_i^{(s)}, g_{s0}) \wedge (g_{i0}, g_s)\}$. Следует отметить, что в каждой из них имеется составная стратегия самостоятельной компенсации ситуационного возмущения. Таким образом, стратегиями $(g_i^{(j)}, g_{j0})$, $(g_i^{(k)}, g_{k0})$ и $(g_i^{(s)}, g_{s0})$ судно c_i может самостоятельно безопасно разойтись со всеми тремя судами, сохраняющими свои параметры движения. Если пересечение всех трех стратегий уклонения: $g_i^{(j)}$, $g_i^{(k)}$ и $g_i^{(s)}$ существует, т.е. $g_i^{(\Sigma)} = \{g_i^{(j)} \cap g_i^{(k)} \cap g_i^{(s)}\} \neq \emptyset$, то одной стратегией уклонения $g_i^{(\Sigma)}$ судно c_i может компенсировать ситуационные возмущения ω_{ij} , ω_{ik} и ω_{is} . Если стратегии уклонения $g_i^{(\Sigma)}$ не существует ($g_i^{(\Sigma)} = \emptyset$), то следует аналогично проверить возможность компенсации ситуационных возмущений маневрами уклонения двух судов или, в крайнем случае, всех трех судов.

В ситуациях, когда судно опасно сближается с несколькими судами, наиболее предпочтительным является вариант компенсации возникших ситуационных возмущений общей стратегией уклонения одного судна. С увеличением числа судов, маневрами которых компенсируется ситуационное возмущение, предпочтение данной стратегии снижается.

При существовании нескольких стратегий расхождения маневрами одинакового числа судов более предпочтительной является стратегия, реализация которой требует меньшего уклонения маневрирующих судов от их программных траекторий движения [12]. При анализе матрицы ситуационного возмущения W_{bn} выявляются строки матрицы, содержащие элементы $\omega_{ij} \neq 0$. Если элементов несколько, то находим стратегию $g_{\min i}^{(\Sigma)}$ их компенсации минимальным числом маневрирующих судов. Если в строке один ненулевой элемент ω_{ij} , то выбираем стратегию $g_i^{(V)}$ его компенсации маневром одного судна с большей скоростью. После анализа всех строк матрицы W_{bn} общая стратегия расхождения $G_n = \bigcup_i g_{\min i}^{(\Sigma)}, g_i^{(V)}$ содержит стратегии, позволяющие компенсировать ситуационные возмущения матрицы W_{bn} минимальным количеством взаимодействующих судов.

Выводы

Рассмотрен способ управления группой судов в ситуации опасного сближения и возникновения угрозы столкновения при полном внешнем управлении с помощью систем управления движением судов.

Предложена процедура формирования группы взаимодействующих судов и определения их матрица ситуационного возмущения, характеризующая интенсивность и уровень опасности возможных сближений.

Приведен способ определения совместной стратегии расхождения, который минимизирует число маневрирующих судов.

Список литературы

1. Куликов А. М. Оптимальное управление расхождением судов / А. М. Куликов, В. В. Поддубный. // Судостроение. – 1984. – № 12. – С. 22–24.
2. Фрейдзон И. Р. Моделирование корабельных систем управления: монография / И. Р. Фрейдзон. – Л.: Судостроение, 1975. – 232 с.

3. Кудряшов В. Е. Математическая модель процесса расхождения нескольких управляемых объектов / В. Е. Кудряшов. // Известия ЛЭТИ. – 1976. – № 206. – С. 15–19.
4. Павлов В. В. Инвариантность и автономность нелинейных систем управления / В. В. Павлов. – Киев: Наукова думка, 1971. – 272 с.
5. Павлов В. В. Некоторые вопросы алгоритмизации выбора маневра в ситуациях расхождения судов / В. В. Павлов, Н. И. Сеньшин. // Кибернетика и вычислительная техника. – 1985. – № 68. – С. 43–45.
6. Куликов А. М. Оптимальное управление расхождением судов / А. М. Куликов, В. В. Поддубный // Судостроение. – 1984. – № 12. – С. 22–24.
7. Сафин В. И. Использование маневра изменения скорости для предотвращения столкновения судов / В. И. Сафин, Е. Е. Тюпиков // Судовождение. – 2005. – № 10. – С. 143–147.
8. Тюпиков Е. Е. Анализ возможности расхождения судна с целью изменением скорости / Е. Е. Тюпиков // Судовождение. – 2006. – № 12. – С. 122–126.
9. Вагущенко Л. Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути: монография / Л. Л. Вагущенко. – Одесса: Феникс, 2013. – 180 с.
10. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus // J. Navig. – 2008. 61. – № 1. – P. 129–142.
11. Lisowski J. The dynamic game models of safe navigation / J Lisowski // Advances in Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2007. – P. 23–30.
12. Цымбал Н. Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н. Н. Цымбал, И. А. Бурмака, Е. Е. Тюпиков. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

УДК 656.61

С. Н. Некрасов,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова;

К. И. Ефимов,
ассистент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

Д. В. Трененков,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова

НАВИГАЦИОННЫЕ РИСКИ БУКСИРОВКИ СУДНА В СТЕСНЕННЫХ НАВИГАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

NAVIGATION RISKS TOWING IN CRAMPED NAVIGATIONAL CONDITIONS

Рассмотрен вопрос определения навигационных рисков прохода судов подходного фарватера к порту Высоцк при различных гидрометеорологических условиях. Используются методы, известные в теории вероятностей и математической статистике для оценки навигационных рисков. Оценку навигационных рисков буксировки предложено производить стохастическими методами, учитывая смещение центра величины судна и изменчивость маневренной полосы движения. Показано, что по результатам имитационного моделирования движения судна по фарватерам и подходным путям п. Высоцк

эти навигационные параметры подчинены нормальному закону распределения и задача оценки рисков сводится к задаче отыскания вероятности попадания случайной величины в назначенную полосу. Выполнена формальная оценка риска прохода узкости судами, на основании которой можно судить о качестве управления судном и некотором числе навигационных аварий и происшествий в заданном районе плавания.

Considered to the question of determination of navigation risks passage of vessels of the approach fairway to the port of Vysotsk in different hydrometeorological conditions. Used techniques known in probability theory and mathematical statistics to assess navigational hazards. Assessment of navigational risks towing asked to produce stochastic methods, estimating the displacement of the centre of buoyancy of the vessel and the variability of maneuvering lanes. It is shown that the results of simulation of ship motion on fairways and approach paths port of Vysotsk these navigation options are subject to the normal law of distribution. Then the task of risks assessment is reduced to the problem of finding the probability of a random value in the assigned band. Made a formal risk assessment of the passage of outcaste courts, on the basis of which you can judge the quality control of the vessel and a number of navigation accidents and incidents in a given area of navigation

Ключевые слова: навигационный риск, навигационная безопасность, ширина маневренной полосы движения судна.

Key words: navigation risk, navigation safety, width maneuverable lanes of the vessel.

БУКСИРОВКА судна в стесненных условиях отличается особой сложностью и необходимостью обеспечения навигационной безопасности плавания, так как навигационные и гидрометеорологические условия оказывают существенное влияние на управление навигационными рисками [5, с. 12]. Необходимость включения в руководящие документы (обязательные постановления капитана порта) крупнотоннажных судов для возможности движения в / из п. Высоцк обусловлена потребностью снижения расходов на один судозаход и повышением экономических показателей.

Одним из подходов к обоснованию возможности буксировки крупнотоннажных судов в стесненных условиях является *имитационное моделирование*, применяемое для оценки навигационных рисков при проектировании и строительстве сооружений и объектов, а также для оценки рисков при движении судов в стесненных условиях [3, с. 164]. Одним из главных параметров, определяющих область возможного нахождения судна, является ширина маневренной полосы движения судна, которая зависит от размерений судна и углов сноса. Навигационными параметрами, характеризующими положение судна на фарватере с учетом его размерений, являются отклонение центра тяжести (ЦТ) судна от эталонной (заданной) траектории $\Delta x(t)$ и угол дрейфа C . В соответствии с правилами применения критерия согласия Колмогорова – Смирнова [2, с. 343] будем полагать, что процесс $\Delta x(t)$ распределен по нормальному закону и имеет некоторые значения математического ожидания $m_{\Delta x}$ и дисперсии $\sigma_{\Delta x}^2$ [4, с. 34–35]. Помимо процесса $\Delta x(t)$ положение судна на траектории движения будет характеризоваться шириной маневренной полосы движения $B(t)$ при угле дрейфа $C \neq 0$ [3, с. 165].

Совместный учет статистических характеристик процессов $\Delta x(t)$ и $B(t)$, характеризующих качество управления судном, позволяет оценить изменчивость параметров траектории движения судна, что, в свою очередь, дает возможность оценить навигационные риски прохода узкости. Процессы $\Delta x(t)$ и $B(t)$ статистически независимы, поэтому оценка общего среднего значения изменчивости траектории судна [4, с. 34] составит

$$m_{\Sigma} = m_{\Delta x} + m_B, \quad (1)$$

где $m_{\Delta x}$ – математическое ожидание изменчивости ЦТ судна; m_B – математическое ожидание изменчивости ширины полосы движения судна; m_{Σ} – суммарное математическое ожидание.

Значение дисперсии изменчивости полосы траектории движения судна составит

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \sigma_{\Delta x}^2 + \sigma_B^2, \quad (2)$$

где $\sigma_{\Delta x}^2$ – дисперсия изменчивости ЦТ судна; σ_B^2 – дисперсия изменчивости ширины полосы движения судна; σ_{Σ}^2 – общая дисперсия изменчивости параметров движения судна [4, с. 35].

Имитационное моделирование движения танкера в сложных гидрометеорологических условиях проводилось на подходе фарватера к п. Высоцк с помощью навигационного тренажера NTPro 4000 и электронной картографической навигационно-информационной системы (ЭКНИС). Были получены значения отклонения центра тяжести (ЦТ) судна и угол дрейфа при движении судна в грузу и в балласте при различной скорости ветра. Результаты, характеризующие движение судна, были проанализированы классическими методами статистического анализа [1, с. 82], [6, с. 137].

Гистограммы и статистические моменты временных рядов отклонения ЦТ судна $X(nh)$ и угла дрейфа $C(nh)$, где h – шаг квантования, приведены на рис. 1–3 и в табл. 1–3.

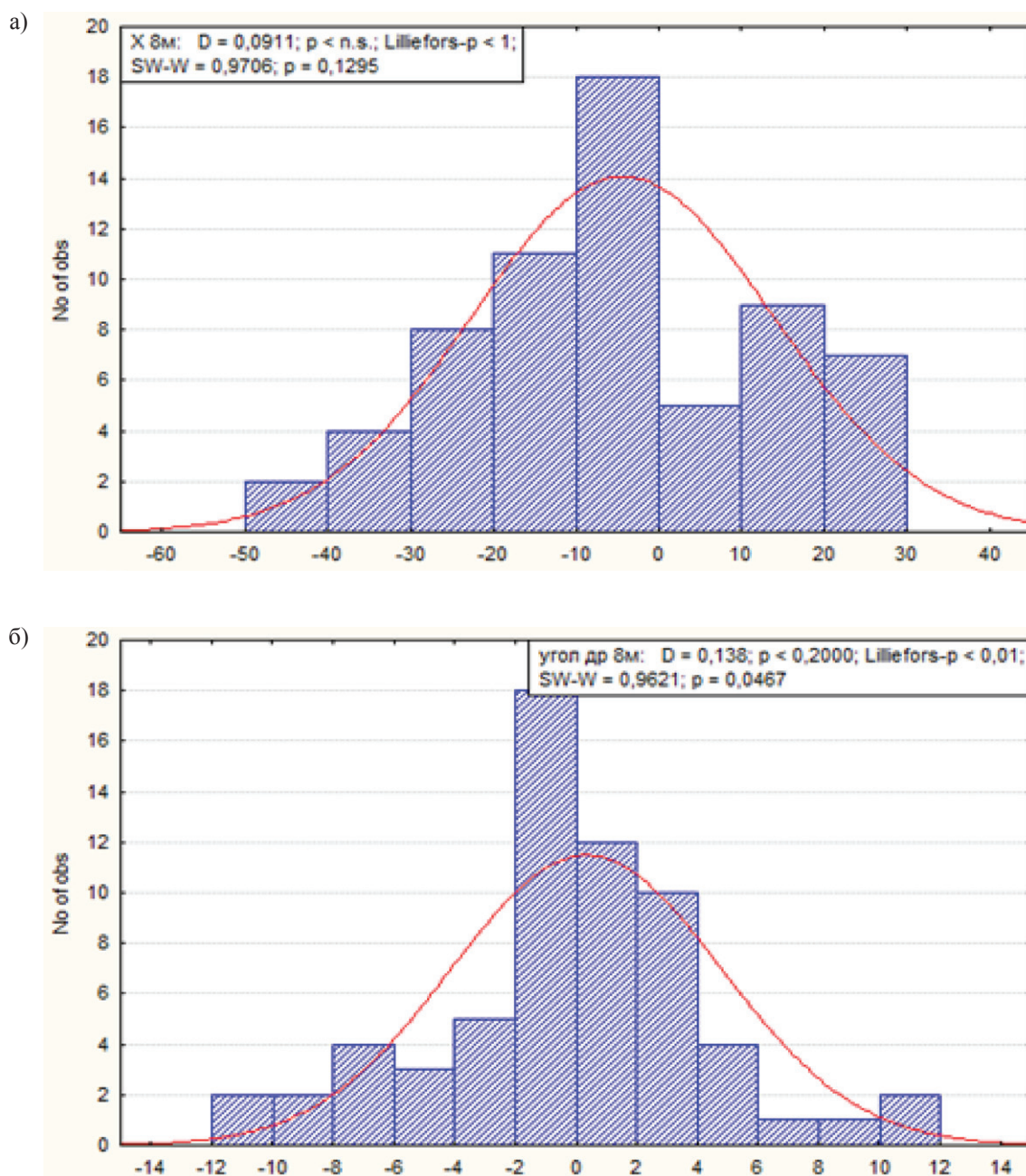
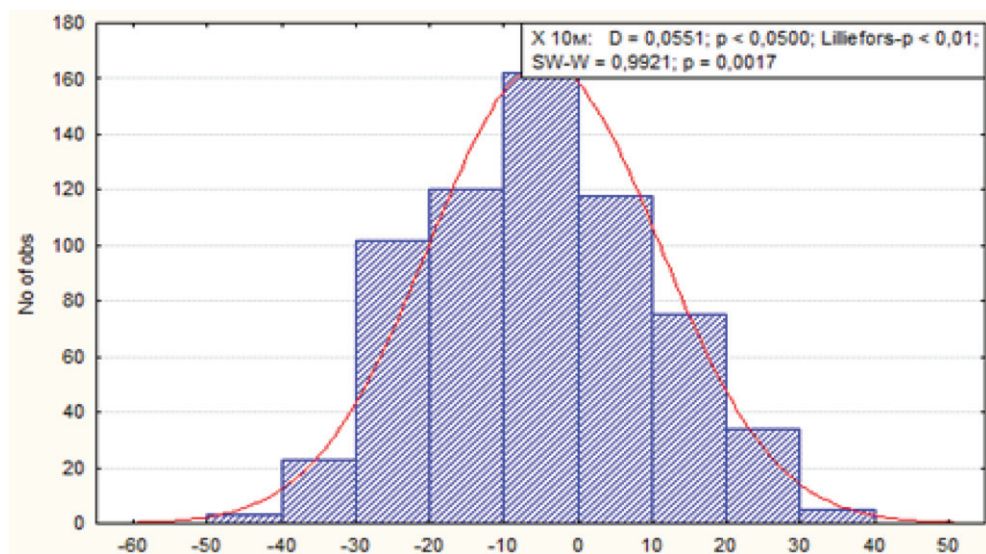


Рис. 1. График распределения отклонения ЦТ судна от оси фарватера (а) и угла дрейфа судна (б) при скорости ветра 8 м/с

а)



б)

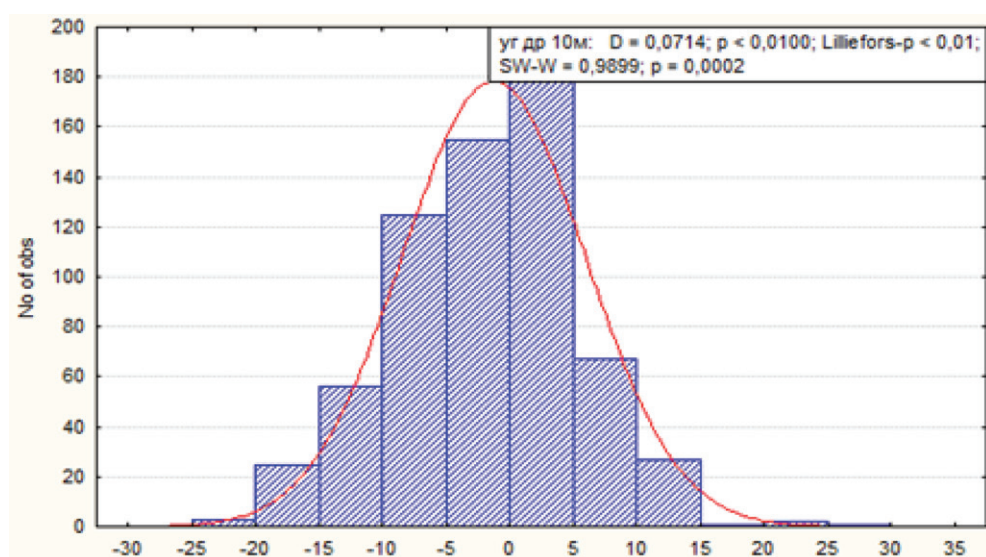
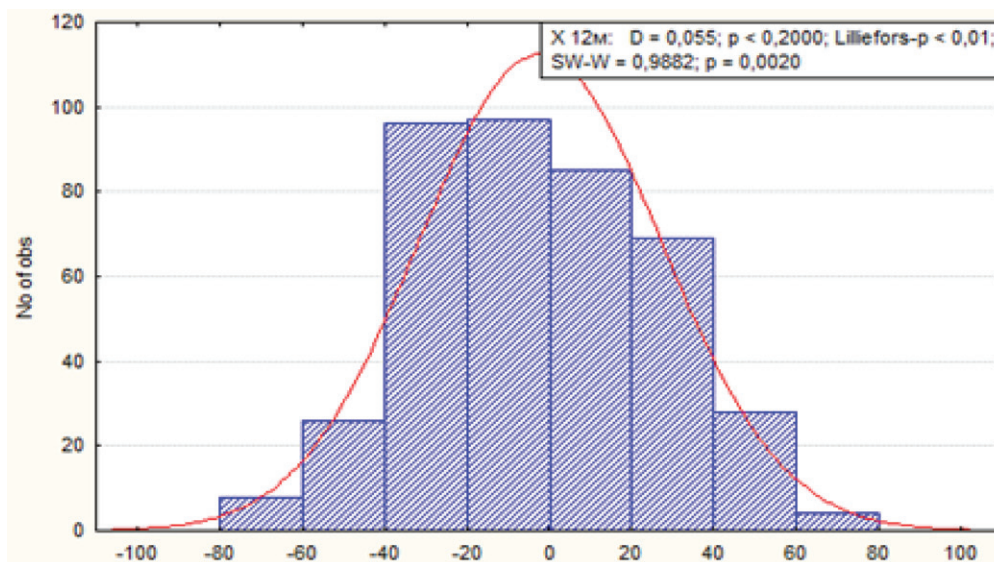


Рис. 2. График распределения уклонения ЦТ судна от оси фарватера (а) и угла дрейфа судна (б) при скорости ветра 10 м/с

а)



б)

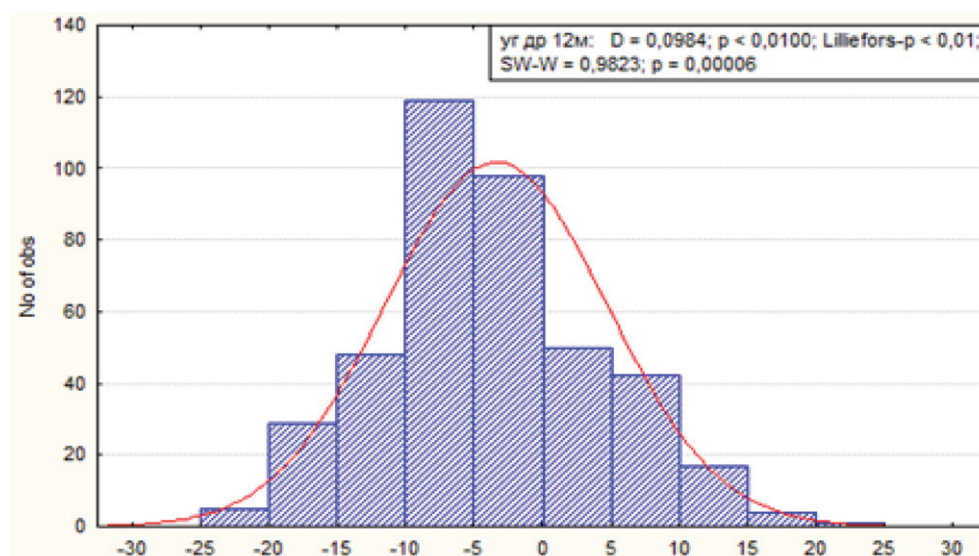


Рис. 3. График распределения отклонения ЦТ судна от оси фарватера (а) и угла дрейфа судна (б) при скорости ветра 12 м/с

Таблица 1

Движение танкера при ветре 8 м/с

Параметры	Количество измерений	Среднее значение	Минимальное значение (ЛБ)	Максимальное значение (ПрБ)	Дисперсия	Стандартное отклонение
Отклонение ЦТ, м	64	-4,64062	-45,0000	27,00000	329,3132	18,14699
Изменение угла дрейфа, град.	64	0,26563	-10,0000	11,00000	19,7855	4,44809

Таблица 2

Движение танкера при ветре 10 м/с

Параметры	Количество измерений	Среднее значение	Минимальное значение (ЛБ)	Максимальное значение (ПрБ)	Дисперсия	Стандартное отклонение
Отклонение ЦТ, м	642	-4,79751	-43,0000	37,00000	239,5596	15,47771
Изменение угла дрейфа, град.	642	-1,40810	-21,0000	28,00000	51,6959	7,18999

Таблица 3

Движение танкера при ветре 12 м/с

Параметры	Количество измерений	Среднее значение	Минимальное значение (ЛБ)	Максимальное значение (ПрБ)	Дисперсия	Стандартное отклонение
Отклонение ЦТ, м	413	-2,69855	-67,0000	70,00000	858,4362	29,29908
Изменение угла дрейфа, град.	413	-3,53511	-24,0000	21,00000	65,5601	8,09692

Математическое ожидание ширины маневренной полосы движения [3, с. 165] можно определить по формуле

$$\frac{m_B}{B_c} = \frac{L_c}{B_c} (\sin m_c + \cos m_c), \quad (3)$$

где m_c – математическое ожидание угла сноса; m_B – математическое ожидание ширины маневренной полосы движения; B_c – ширина судна.

Математическое ожидание (m_B) ширины маневренной полосы движения судна также определяется из табл. 2. При $\frac{L_c}{B_c} = 6$ и $m_c = 0,27$ по табл. 2 [3, с. 165] определим $m_B = 1,07B_c = 1,07 \cdot 48,3 = 51,68$ м.

Среднее квадратическое отклонение (СКО) изменчивости ширины маневренной полосы движения можно определить по формуле [3, с. 165]:

$$\frac{\sigma_B}{B_c} = \frac{\sigma_c}{57,3^\circ} \left| \frac{L_c}{B_c} \cos C - \sin C \right|, \quad (4)$$

где σ_B – СКО маневренной полосы движения судна; σ_c – СКО суммарного дрейфа судна.

При $\frac{L_c}{B_c} = 6$ и $\sigma_c = 4,45$ по табл. 3 [3, с. 165] определим $\sigma_B = 0,46B_c = 0,46 \cdot 48,3 = 22,22$ м.

Суммарное математическое ожидание изменчивости параметров движения судна составит

$$\frac{m_\Sigma}{B_c} = \frac{L_c}{B_A} \sin m_c + \cos m_c + m_{\Delta x}. \quad (5)$$

На основании формулы (4) дисперсия составит

$$\sigma_B^2 = \left(B_c \cdot \frac{\sigma_c}{57,3^\circ} \left| \frac{L_c}{B_c} \cos C - \sin C \right| \right)^2. \quad (6)$$

Полученные результаты позволяют оценить вероятность свершения событий изменения суммарной маневренной полосы в пределах допустимой ширины судового хода [3, с. 166]:

$$P\{a_1 < x < a_2\} = \Phi\left(\frac{a_2 - \mu_\Sigma}{\sigma_\Sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a_1 - \mu_\Sigma}{\sigma_\Sigma}\right), \quad (7)$$

где a_1, a_2 – границы габаритов судового хода; x – случайная величина ширины маневренной полосы движения судна; Φ – функция Лапласа.

На основании результатов табл. 1 $m_{\Delta x} = 4,64$ м; $\sigma_{\Delta x} = 18,15$ м; $m_c = 0,27^\circ$, $\sigma_c = 4,45^\circ$.

По формуле (1) определяем $m_\Sigma = m_{\Delta x} + m_B = 4,64 + 51,68 = 56,32$ м.

По формуле (2) находим $\sigma_\Sigma^2 = \sigma_{\Delta x}^2 + \sigma_B^2$ отсюда $\sigma_\Sigma = \sqrt{18,15^2 + 22,22^2} = \sqrt{823,15509} = 28,69$ м.

Тогда значение вероятности безопасного прохода узкости при допустимой ширине составит:
– для первого колена (190 м):

$$2\Phi\left(\frac{a - m_\Sigma}{\sigma_\Sigma}\right) = 2\Phi\left(\frac{190 - 56,32}{28,69}\right) = 2\Phi\left(\frac{133,68}{28,69}\right) = 2\Phi(4,659);$$

– для второго колена (180 м):

$$2\Phi\left(\frac{a - m_\Sigma}{\sigma_\Sigma}\right) = 2\Phi\left(\frac{180 - 56,32}{28,69}\right) = 2\Phi\left(\frac{123,68}{28,69}\right) = 2\Phi(4,311);$$

– для третьего колена (230 м):

$$2\Phi\left(\frac{a - m_\Sigma}{\sigma_\Sigma}\right) = 2\Phi\left(\frac{230 - 56,32}{28,69}\right) = 2\Phi\left(\frac{173,68}{28,69}\right) = 2\Phi(6,054);$$

– для входных ворот (120 м):

$$2\Phi\left(\frac{a-m_{\Sigma}}{\sigma_{\Sigma}}\right) = 2\Phi\left(\frac{120-56,32}{28,69}\right) = 2\Phi\left(\frac{63,68}{28,69}\right) = 2\Phi(2,22) .$$

В табл. 3 [2, с. 374] находятся значения функции Лапласа $\Phi(2,22) = 0,4868$, для $2\Phi(2,22) = 0,9736$. Следовательно, значение навигационного риска при проходе входных ворот шириной 120 м танкером с шириной корпуса 48,3 м составит $1 - 0,9736 = 0,0264 = 2,64 \cdot 10^{-2}$. При движении танкера по первому, второму и третьему колену шириной 190, 180 и 230 м соответственно вероятность касания кромки фарватера стремится к нулю.

Выводы

Выбраны основные навигационные параметры, характеризующие положение судна относительно кромок фарватера.

На примере подходного фарватера к п. Высоцк определены навигационные риски буксировки танкера длиной 248 м и шириной 48,3 м при различных навигационных условиях

Список литературы

1. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учеб. пособие / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: КНОРУС, 2010. – 342 с.
2. *Абезгауз Г. Г.* Справочник по вероятностным расчетам / Г. Г. Абезгауз, А. П. Тронь, Ю. Н. Копенкин, И. А. Коровина. – М.: Воениздат, 1970. – 560 с.
3. *Некрасов С. Н.* Оценка навигационных рисков при проектировании Ново-Адмиралтейского моста / С. Н. Некрасов, Ю. Г. Андреев // Журнал университета водных коммуникаций. – СПб.: СПГУВК. – 2012. – Вып. 2. – С. 163–167.
4. *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. – СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. – 2014. – Вып. 1 (23). – С. 34–36.
5. *Катенин В. А.* Навигационно-гидрографическое обеспечение судоходства на внутренних водных путях: произв.-практ. изд. / В. А. Катенин, А. В. Зернов, Г. Г. Фадеев. – М.: Моркнига, 2010. – 344 с.
6. *Груздев Н. М.* Математическая обработка и анализ навигационной информации: учебник / Н. М. Груздев. – М.: Воениздат, 1979. – 222 с.

ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РАБОТНИКОВ ФЛОТА В УСЛОВИЯХ ХРОНОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ

PROFESSIONAL ACTIVITIES OF FLEET WORKERS IN CONDITIONS OF CHRONOPHYSIOLOGICAL ADAPTATION

Рассмотрены причины возникновения десинхроноза работников флота и некоторые связанные с ним физиологические и социальные нарушения жизнедеятельности организма человека. Предложены меры предупреждения дезадаптационных расстройств во время длительных рейсов, оптимизации профессиональной деятельности моряков в условиях хронофизиологической адаптации. Особое внимание уделено таким методам, как предварительное установление режима жизнедеятельности, соответствующего новому поясному времени, индивидуальный подход к соответствию суточного ритма физиологических функций ритму труда и отдыха, прогнозирование течения адаптации, использование мер неспецифической профилактики и фармакологических средств. Отмечена эффективность физических упражнений, режима сна и бодрствования, специальной диеты и режима питания как средства мобилизации резервных физиологических возможностей и ускоренной адаптации организма к изменяющимся условиям внешней среды.

The article deals with causes of desynchronosis of fleet workers and some related physiological and social disorders of the vital functions of the human body. The measures to prevent disadaptive disorders during long voyages are proposed, as well as optimization of professional performance of the fleet workers in conditions of chronophysiological adaptation. Particular attention is paid to such methods as preliminary determination of a regime of life activity, corresponding to the new standard time; individual approach to matching a daily rhythm of physiological functions to the rhythm of work and rest; prognosis of the course of adaptation, the use of non-specific prevention measures and pharmacological agents. Among efficient means of mobilizing reserve physiological capabilities and rapid adaptation to changing environmental conditions are: physical exercises, regime of sleep and wakefulness, special diet and eating regime.

Ключевые слова: биологические ритмы, десинхроноз, хронофизиологическая адаптация.

Key words: biological rhythms, desinchronosis, chronophysiological adaptation.

СОВРЕМЕННОЕ развитие флота неразрывно связано с решением проблемы сохранения и укрепления здоровья моряков, улучшения условий их труда, быта и отдыха. Важнейшим условием для этого является обеспечение оптимальной среды обитания на судне. При этом судно необходимо рассматривать как искусственную экологически замкнутую систему, обеспечивающую экипажу условия длительного деятельного существования [2], [7].

В период длительного плавания судна одной из основных причин, вызывающих повышенную утомляемость и снижение работоспособности моряков, является несоответствие существующего в период пребывания в порту распорядка дня условиям повседневной деятельности экипажа в море. Переход на другой режим труда и отдыха необычен и труден для плавсостава, так как

связан с ломкой существующего и выработкой нового рабочего динамического стереотипа. Процесс, заключающийся в перестройке суточной периодики физиологических функций, представляет собой сложную приспособительную реакцию организма к новым условиям жизнедеятельности. Эта реакция является значительной нагрузкой для организма и сопровождается существенными изменениями его функционального состояния и работоспособности, требует длительного периода вработываемости и адаптации к условиям плавания. Например, при несении ночных вахт на выработку нового стереотипа у моряков требуется около двух недель.

Следует отметить, что на суточную периодику физиологических функций судовых специалистов влияет не только несение ночных вахт, но и постоянная смена часовых поясов при длительном плавании. Нередко суда в течение 10–15 сут плавания пересекают пять – семь часовых поясов. Такие перемещения вызывают у людей нарушения ритмов физиологических функций и проявляются специфическими субъективными ощущениями. Перестройка биологических ритмов воспринимается моряками как состояние утомления, возникают слабость, вялость, бессонница в ночные и сонливость в дневные часы, снижается работоспособность. Подобное состояние человека получило название *десинхроноз* [3], [5].

Десинхроноз (от лат. *de* – приставка, означающая удаление, и греч. *synchronos* – одновременный) – изменение различных физиологических и психических функций организма в результате нарушения суточных биоритмов его функциональных систем. Этот процесс сопровождается целым комплексом отклонений в состоянии здоровья.

Биологические ритмы, или биоритмы – это более или менее регулярные изменения характера и интенсивности биологических процессов. Способность к таким изменениям жизнедеятельности передается по наследству и обнаружена практически у всех живых организмов. Их можно наблюдать в отдельных клетках, тканях и органах, в целых организмах и популяциях.

С точки зрения экологической физиологии человека биологический ритм – это самоподдерживающийся автономный процесс периодического чередования интенсивности и частоты физиологических процессов и реакций. Для существующих ритмов наиболее свойственным является широкий временной диапазон – от «быстрых» микроволн элементарных частиц до глобальных циклов биосферы. Ритмические явления протекают на различных уровнях организации живой материи: субклеточном, клеточном, тканевом, органном, системном и т.д. В сложноорганизованных биологических системах, к которым относится организм человека, имеется целая иерархия циклических колебаний, и биологический ритм каждой функциональной системы обычно является результатом согласования и интеграции ряда более элементарных колебаний, т.е. *хроноструктурной упорядоченности и организованности* [1], [9].

В естественных условиях ритм физиологической активности человека синхронизирован с его социальной активностью, обычно высокой днем и низкой ночью. При перемещениях человека через временные пояса наблюдается десинхронизация функций, проявляющаяся в усталости, раздражительности, расстройстве сна, умственной и физической угнетенности; иногда наблюдаются расстройства пищеварения, изменения артериального давления. Эти ощущения и функциональные нарушения возникают в результате десинхронизации циркадианных закрепленных ритмов физиологических процессов с измененным временем световых суток (астрономических) и социальной активности в новом месте пребывания человека. Человек, покидая место своего постоянного или длительного жительства, как бы несет с собой на новое место ритм родных, прежних мест. Через некоторое время эти ритмы согласуются, однако для разных направлений перемещения человека и разных функций это время будет неодинаковым. При перемещениях в западном направлении биологические часы отстают по отношению к 24-часовому солнечному циклу, и для приспособления к распорядку дня в новом месте должна произойти фазовая задержка биологических часов. При перемещении в восточном направлении происходит их ускорение. Организму легче осуществить фазовую задержку, чем ускорение, поэтому после перемещения в западном направлении ритмы синхронизируются быстрее. Также следует отметить, что люди имеют существенные индивидуальные различия в скорости синхронизации ритмов при пере-

мещениях. Скорость напрямую зависит от того, насколько быстро прибывший на новое место человек включится в активную деятельность и сон по местному времени и насколько он в этом заинтересован.

Если поездка недлительная, и предстоит скорое возвращение, то не стоит «перенастраивать» на местное время свои биологические часы, так как предстоит их скорая возвратная «перенастройка». Если такие «перенастройки» происходят часто (например, у моряков в период длительных рейсов), то это небезвредно для организма человека. Моряки предпочитают скорое возвращение из рейса и поэтому после непродолжительного пребывания на новом месте «не переводят на местное время» свои биологические часы.

В работе [5] Д. И. Рыжаков с соавт. отмечает, что характерным признаком ритмических изменений функций организма у моряков в процессе адаптации к условиям плавания является смещение акрофазы с 10 на 14 ч, а в дальнейшем – на 18 ч с постепенным снижением физиологического уровня показателей. Наиболее существенные изменения суточной динамики физиологических процессов отмечаются при кратковременном (15 сут) и длительном (4 мес.) плавании, что отражает в этот период не только взаимоотношения синхронизируемых систем, но и состояние организма в целом.

Исследование работоспособности в изолированной камере до и после перевода стрелок часов на 8 ч вперед и назад показало следующее. Продолжительность времени, необходимого для перестройки, была больше, когда сон приходился на период между 8 ч и 16 ч (как бывает обычно при работе в ночную смену), чем тогда, когда он приходился на промежуток от 16 ч до полуночи. В первом случае сдвигалась обычная последовательность сна, работы и отдыха, и биоритм должен был приспосабливаться к их изменениям [4], [8]. В связи с ранее изложенным необходимо отметить, что режим труда и отдыха в течение всего периода плавания должен быть постоянным. Большое значение имеет целенаправленность человека на перестройку режима в новых условиях плавания. Поэтому для сохранения высокой работоспособности специалистов, вынужденных в течение длительного периода времени жить и работать в условиях «сдвинутого режима», рекомендуется практиковать предварительную адаптацию их в течение 7–10 сут к конкретному суточному режиму сна и бодрствования.

Необходимо отметить, что для ускорения выработки нового динамического стереотипа в начале плавания и для предупреждения дезадаптационных расстройств во время длительных рейсов применяются различные средства и методы. Так, одной из эффективных мер нормализации сна, устранения утомления и повышения работоспособности судовых специалистов является *метод электростимуляции*. При использовании электростимуляции с помощью портативных аппаратов «Электросон» сон наступает через 20–30 мин, а для нормализации сна достаточно проведения двух – четырех процедур.

В работе [6] И. А. Сапов подчеркивает эффективность физических упражнений как средства мобилизации резервных физиологических возможностей и ускоренной адаптации организма к изменяющимся условиям внешней среды. При этом применяемые комплексы физических упражнений должны учитывать закономерности изменений двигательной и защитной функций. Например, занятия плаванием должны проводиться в виде физической зарядки после сна (наибольшей продолжительности), вводных упражнений перед заступлением на вахту, во время вахты (типа производственной гимнастики) и в специально отведенное для этого время (учебно-тренировочные занятия).

Система физических упражнений, величина нагрузки и время включения упражнений в период вахты должны определяться в зависимости от конкретных условий, характера трудового процесса и состояния специалистов. Например, в начале плавания достаточно выполнения «физкультпауз» на третьем-четвертом часу вахты, а к концу многомесячного плавания, когда признаки утомления будут проявляться раньше, проведение «физкультпауз» будет оправдано уже на втором часу вахты [5], [6]. Кроме того, сильными синхронизаторами суточных ритмов биохимических и физиологических процессов являются время и продолжительность сна, время приема

пищи. При многочасовых широтных перемещениях в ускорении нормализации суточного ритма основную роль играет режим сна и бодрствования.

При составлении специальной диеты и режима питания учитывают следующее:

- действие пищи как датчика времени;
- хронобиологическое действие теофиллина в чае и кофеина в кофе;
- свойство пищи, богатой белками, способствует синтезу катехоламинов, а богатой углеводами – синтезу серотонина.

Известно, что необходимо относительно высокое содержание в крови адреналина и норадреналина во время бодрствования, а серотонина – во время сна.

Некоторые исследователи предлагают за несколько дней до рейса установить режим жизнедеятельности, соответствующий новому поясному времени, однако этот вопрос остается дискуссионным.

При кратковременных командировках рекомендуется не менять привычный распорядок дня и часы сна, а при необходимости принимать снотворное или тонизирующий препарат. Также возможна комбинация этих средств. Циркадианные ритмы значительно быстрее восстанавливаются при использовании специальных режимов чередования света и темноты.

В заключение следует отметить, что у значительной части специалистов состояние устойчивой адаптации к постоянному чередованию дневных и ночных циклов деятельности не наступает. Таким образом, оптимизации профессиональной деятельности человека в условиях хронофизиологической дезадаптации способствуют:

- предварительная перестройка биоритмов в направлении предстоящего фазового сдвига внешних датчиков времени;
- соответствие индивидуальной типологии суточного ритма физиологических функций ритму труда и отдыха;
- прогнозирование течения адаптации;
- использование мер неспецифической профилактики и фармакологических средств [4, 10].

Список литературы

1. Гора Е. П. Экология человека: учеб. пособие / Е. П. Гора. – М.: Дрофа, 2007. – 760 с.
2. Гриневич В. Биологические ритмы здоровья / В. Гриневич // Наука и жизнь. – 2005. – № 1. – С. 28–34.
3. Коновалов Ю. В. Условия труда и состояние здоровья моряков: на примере судов ОАО «Дальневосточное морское пароходство»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Ю. В. Коновалов. – Владивосток, 2000. – 32 с.
4. Михайленко Е. В. Личность в экстремальных условиях: исследование адаптации и реадaptации моряков / Е. В. Михайленко // Высшее образование сегодня. – 2007. – № 9. – С. 69–71.
5. Рыжаков Д. И. Метеопатология и нарушения биоритмов / Д. И. Рыжаков, О. Н. Шевантаева, В. А. Журавлев. – Режим доступа: http://www.nizhgma.ru/_resources/directory/1147/common/bioritm.pdf.
6. Сапов И. А. Особенности адаптации к условиям плавания / И. А. Сапов. – Режим доступа: <http://www.blackpantera.ru/communication/blog/adapt/911.php>.
7. Стрелкова О. В. Психология профессиональной деятельности моряков / О. В. Стрелкова. – Калининград: БГА РФ, 2005. – 135 с.
8. Физиология человека: учебник / под ред. В. М. Покровского, Г. Ф. Коротко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 2003. – 656 с.
9. Хильдебрандт Г. Хронобиология и хрономедицина / Г. Хильдебрандт, М. Мозер, М. Лехофер. – М.: Арнебия, 2006. – 144 с.

10. Хугаева С. Г. Особенности психофизиологической адаптации моряков тралового флота в условиях арктического севера: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 19.00.02 / С. Г. Хугаева. – Архангельск, 2012. – 20 с.

УДК 656.61.052:621.396.6:629.12.018(075.8)

С. Ф. Шахнов,
канд. техн. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

**К РАСЧЕТУ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ РАДИОКАНАЛОВ РЕЧНОЙ
ЛОКАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПОДСИСТЕМЫ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ
И ВЗАИМНЫХ ПОМЕХ**

**TO CALCULATION OF THE NOISE-PROTECTION
OF THE RADIO CHANNELS OF RIVER LDSS WITH THE USE
OF THE DETERMINISTIC SIGNALS AND MUTUAL DISTURBANCES**

Рассмотрена методика расчета помехозащищенности радиоканалов контрольно-корректирующих станций (ККС) речной локальной дифференциальной подсистемы (ЛДПС) ГЛОНАСС/GPS автоматизированной системы управления движением судов (АСУ ДС) на внутренних водных путях (ВВП) России на основе исследования коэффициента взаимного различия (КВР) сигнала и взаимной помехи при использовании модели детерминированных сигналов и помех на примере узкополосных фазоманипулированных двоичных сигналов с равномерным кодом Бодо средневолнового диапазона на примере цепочки ККС Енисейского ФБУ. Проанализированы два варианта методики: для областей перекрытия двух соседних станций (одна взаимная помеха) и для областей перекрытия трех соседних станций (две взаимные помехи). В первом случае в качестве критерия помехозащищенности рассматривается допустимый КВ, во втором – допустимая вероятность ошибки поэлементного приема цифрового сообщения.

The article examines design procedure of the noise protection of the radio channels of the control and correction stations (CCS) of the river local differential subsystem (RLDSS) of the automated control system vessel traffic (ACS VT) of GLONASS/GPS on the inland waterways (IWW) of Russia, based on a study of the coefficient of a mutual difference between the signal and mutual disturbance with the use of model of the deterministic signals and mutual disturbances by the example of the narrow-band phasemanipulating binary signals with Baudot code of the middle frequency range, exemplified with a chain of CCS of Yenisei FBA. Two variants of the method are described, i.e. for overlapping areas of two neighbouring stations (with one mutual disturbance) and for overlapping areas of three neighbouring stations (with two mutual disturbances). In the first case, the noise protection criterion is the permissible coefficient of mutual difference; in the second, the permissible error probability of the piece-by-piece reception of digital communication.

Ключевые слова: взаимные помехи, коэффициент взаимного различия, мощность сигнала, вероятность ошибки поэлементного приема, энергетика помехи, функция ослабления.

Key words: mutual disturbances, coefficient of mutual difference, signal power, probability of the error of piece-by-piece method, power engineering of interference, the function of weakening.

ВЗАИМНЫЕ помехи в радиоканалах контрольно-корректирующих станций (ККС) возникают вследствие того, что станции в речной локальной дифференциальной подсистеме (ЛДПС) образуют цепочки, обеспечивающие сплошное покрытие внутренних водных путей высокоточным полем дифференциальной поправки. Зоны их действия имеют области пере-

крытия, в которых в качестве взаимной помехи выступает сигнал от соседней ККС (на рис. 1 выделены цветом) [1]. В частности, области перекрытия двух станций на рисунке выделены желтым цветом. Наиболее проблемными являются области перекрытия трех станций, в которых на сигнал воздействуют две взаимные помехи (на рисунке выделены розовым цветом). При этом и полезный сигнал, и взаимные помехи являются детерминированными сосредоточенными по спектру сигналами с идентичными параметрами (длительностью посылки и спектральной плотностью сигнала). При этом используются узкополосные фазоманипулированные двоичные сигналы с равномерным кодом Бодо.

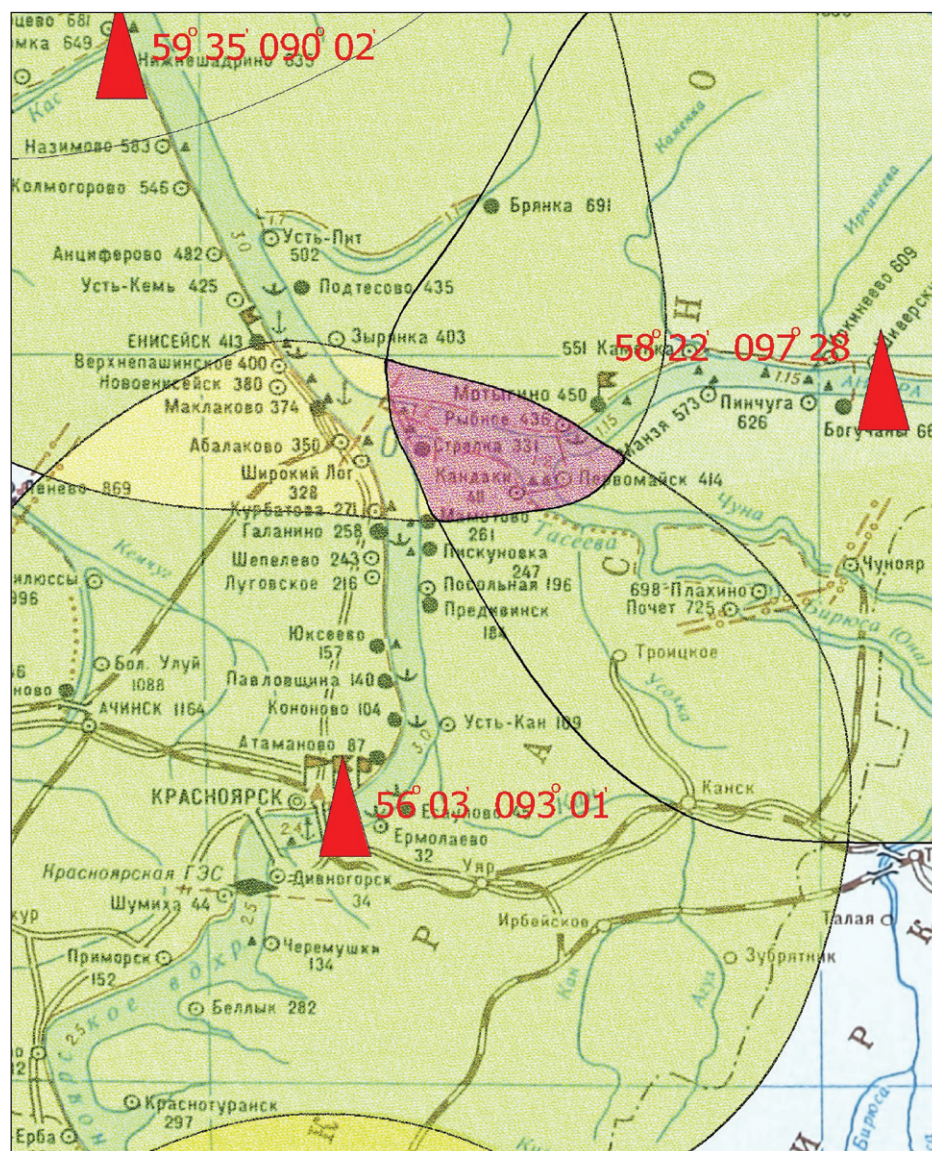


Рис. 1. Области перекрытия зон действия ККС на примере ФБУ «Енисейречтранс»

Для оценки помехозащищенности радиолиний данного вида используется методика, основанная на исследовании рельефа двумерного коэффициента взаимного различия (КВР) между сигналом и помехой вида [2]:

$$g_k^2 = \frac{h_{nk}^2}{h^2 T^2} (T - |\Delta t_{nk}|)^2 \left\{ \frac{\sin[0,5\Omega_{nk}(T - |\Delta t_{nk}|)]}{0,5\Omega_{nk}(T - |\Delta t_{nk}|)} \right\}^2. \quad (1)$$

Здесь Ω_{nk} – расстройка частоты сигнала и k -й помехи; Δt_{nk} – временной сдвиг k -й помехи относительно сигнала; T – период следования сигнала; h^2 , h_{nk}^2 – энергетика сигнала и k -й помехи.

В данном случае, с учетом детерминированности сигналов и помех, исследование двумерного КВР может быть заменено исследованием двух его основных сечений [3]: первого сечения плоскостью $\Delta t_{nk} = 0$ (рис. 2 а), второго сечения плоскостью $\Omega_{nk} = 0$ (рис. 2 б).

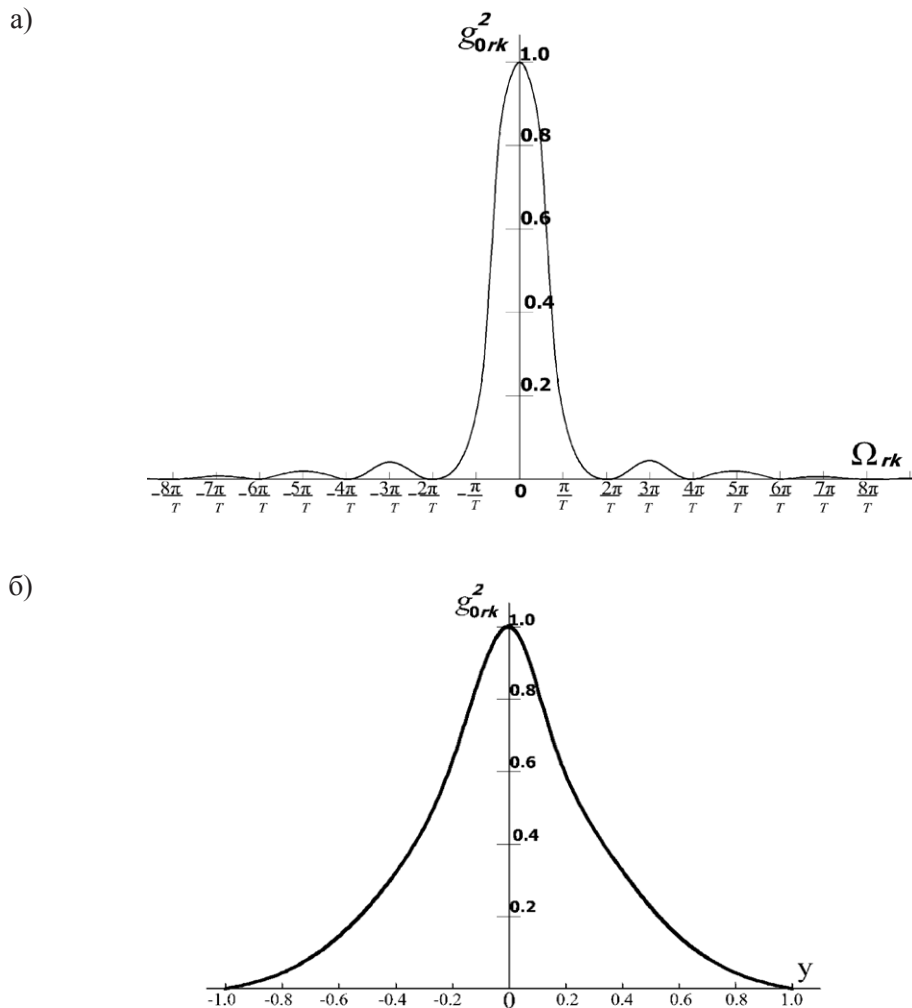


Рис. 2. Нормированные КВР: а – в сечении $\Delta t_{nk} = 0$; б – в сечении $\Omega_{nk} = 0$

В первом случае функция нормированного КВР примет вид

$$g_{0k}^2 = \left\{ \frac{\sin[0,5\Omega_{nk}T]}{0,5\Omega_{nk}T} \right\}^2. \quad (2)$$

Как видно из рис. 2, область сильной корреляции сигнала и помехи лежит в пределах $|\Omega_{nk}| \leq 2\pi/T$. Нули КВР имеют место при $|\Omega_{nk}| = 2\pi l/T$, $l = 1, 2, 3, \dots$. Побочные максимумы располагаются при $|\Omega_{nk}| = \pi(2l+1)/T$, $l = 1, 2, 3, \dots$.

Во втором случае получим

$$g_{0k}^2 = \left(1 - \left| \frac{\Delta t_{nk}}{T} \right| \right)^2 = (1 - |y|)^2. \quad (3)$$

Так как расстройка частоты Ω_{nk} между сигналом и взаимной помехой в цепочке ККС речных ЛДПС с перекрывающимися зонами является детерминированным параметром ($\Omega_{nk} = \text{const}$), трехмерный график нормированного КВР можно заменить двумерным, рассматривая сечение его вертикальной плоскостью $\Omega_{nk} = \text{const}$ (рис. 3). В данном случае нормированный КВР будет определяться выражением

$$g_{0k}^2 = \left(1 - \left|\frac{\Delta t_{pk}}{T}\right|\right)^2 K_k = (1 - |y|)^2 K_k, \quad (4)$$

где

$$K_k = \left[\frac{\sin(0,5\Omega_{pk}T)}{0,5\Omega_{pk}T} \right]^2 = \text{const.}$$

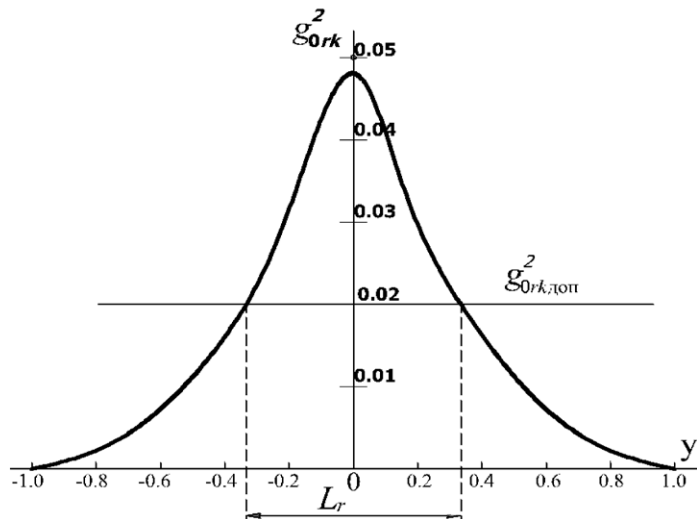


Рис. 3. Одномерная линия поражения

Также при исследовании помехозащищенности радиоканалов в различных точках судового хода детерминированными являются расстояния как от источника сигнала, так и от источников взаимных помех от соседних ККС. Кроме того, для волн на границе СВ/ДВ диапазона на подавляющем большинстве судоходных участков рек внутренних водных путей (ВВП) России перепадами высот по сравнению с длиной волны (порядка 1 км), а следовательно, влиянием заграждающего рельефа можно пренебречь. Тогда в двумерном случае поле поражения сигнала сводится к линии на графике рис. 3, соответствующей уровню $g_{0k,доп}^2$. Здесь вероятность энергетического подавления радиолинии $p_{эп}$ будет определяться отношением длины отрезка L_r , отсекаемого на графике нормированного КВР линией, соответствующей уровню $g_{0k,доп}^2$, к диапазону изменения нормированной оси времени L_Σ , равному двум ($p_{эп} = L_r/L_\Sigma = L_r/2$). На рис. 3 приведен пример для $\Omega_{pk} = 1$ кГц и $g_{0k,доп}^2 = 0,02$.

Для оценки сверху, приняв $\Delta t_{pk} = 0$, данную методику можно упростить. Здесь оценка помехозащищенности выполняется путем сравнения величины допустимого нормированного КВР с расчетным.

Допустимый нормированный КВР получается из выражения [3]:

$$g_{0k,доп}^2 = \delta_{0доп} / h_{pk}^2. \quad (5)$$

Энергетика k -й помехи

$$h_{pk}^2 = \mu \frac{PT}{v^2}, \quad (6)$$

где v^2 — спектральная плотность белого шума; μ — коэффициент передачи радиоканала.

Параметр радиоканала $\delta_{0доп}$ определяется выражением [4]:

$$\delta_{0доп} = \sqrt{p_{ош,доп}} \cdot \overline{h_0^2} - 1, \quad (7)$$

где $p_{ош,доп}$ — допустимая вероятность ошибки поэлементного приема; $\overline{h_0^2}$ — энергетика сигнала, обеспечивающего требуемую вероятность поэлементного приема в канале только с флуктуационным

шумом. При заданном значении $p_{\text{ош.треб}}$ энергетика сигнала $\overline{h_0^2}$ определяется из соотношения

$$p_{\text{ош.треб}} = 0,5 \exp(-0,5 h_0^2). \quad (8)$$

Параметры $p_{\text{ош.доп}}$ и $p_{\text{ош.треб}}$ для различных радиолиний приведены в работе [5].

С учетом соотношения

$$g_k^2 = \frac{h_{\text{пк}}^2}{h^2} g_{0\text{k}}^2 \quad (9)$$

получим расчетный КВР из формулы (3) при условии, что $\Delta t_{\text{пк}} = 0$:

$$g_k^2 = \frac{h_{\text{пк}}^2}{h^2} K_k = \frac{h_{\text{пк}}^2}{h^2} \left[\frac{\sin(0,5 \Omega_{\text{пк}} T)}{0,5 \Omega_{\text{пк}} T} \right]^2. \quad (10)$$

Тогда заданная допустимая вероятность ошибки поэлементного приема в конкретной точке водного пути будет обеспечена при выполнении условия

$$g_k^2 < g_{\text{доп}}^2. \quad (11)$$

Так как $g_{\text{доп}}^2$ определялся при условии, что энергетика сигнала на входе приемника соответствует величине $\overline{h_0^2}$, необходимой для обеспечения требуемой вероятности ошибки поэлементного приема в канале только с флуктуационным шумом, допустимый КВР в формуле (11) будет определяться выражением

$$g_{\text{доп}}^2 = \frac{h^2}{h_0^2} g_{0\text{доп}}^2. \quad (12)$$

При этом, кроме выполнения условия (11), необходимо, чтобы

$$h > \overline{h_0}. \quad (13)$$

Для определения энергетика сигнала и помехи в точке приема следует найти их мощности. Для расчета мощности на входе приемника используем известное выражение:

$$P_{\text{с.пр}} = D \frac{U_m^2}{\rho_0}, \quad (14)$$

где U_m – ЭДС на входе антенны; L_d – действующая высота антенны; ρ_a – волновое сопротивление антенны; D – передаточный коэффициент антенны,

$$U_m = E_{\text{пр}} \cdot L_d. \quad (15)$$

Амплитуда напряженности поля $E_{\text{пр}}$ на входе приемника, при значительных расстояниях от источника до приемника и известной мощности излучения передатчика ($P_{\text{пер}}$), в СВ/ДВ диапазоне частот определяется выражением [7]:

$$E_r = \frac{\exp(ika\vartheta)}{a\vartheta} W(\vartheta), \quad (16)$$

где k – волновое число; a – радиус Земли; ϑ – угловое расстояние между передатчиком и приемником; $W(\vartheta)$ – функция ослабления, в общем случае определяемая численным решением уравнения Фейнберга [6] для сферической неоднородной поверхности.

Таким образом, имеется следующий алгоритм расчета помехозащищенности радиоканала *ККС – судно*:

– определяются исходные данные к расчету (координаты соседних ККС, имеющих перекрывающиеся зоны действия; их частоты и расстройки несущих $\Omega_{\text{пк}}$; расстояния от ККС до расчетных точек; мощности передатчиков исследуемых ККС P ; длительность посылок сигналов и помех T ; действующая высота L_d ; волновое сопротивление ρ_a и передаточный коэффициент D судовой антенны; требуемая $p_{\text{ош.треб}}$ и допустимая $p_{\text{ош.доп}}$ вероятность ошибки поэлементного приема; коэффициент передачи радиоканала μ и спектральная плотность белого шума ν^2);

- по заданной $p_{\text{ош.треб}}$ из формулы (8) находим требуемую энергетику сигнала в канале с флуктуационным шумом $\overline{h_0^2}$;
- по заданному $p_{\text{ош.доп}}$ из выражения (7) находим $\delta_{\text{доп}}$;
- по заданным параметрам передатчиков и расстояний до точки приема из выражения (16) находим напряженность поля сигнала и взаимной помехи;
- по заданным параметрам приемника сигнала из выражений (14) и (15) находим мощности сигнала и взаимной помехи на входе приемника;
- по заданному периоду следования сигнала T и спектральной плотности белого шума v^2 из формулы (6) находим энергетику сигнала и взаимной помехи $\overline{h^2}$;
- подставляя полученную энергетику помехи и $\delta_{\text{доп}}$ в выражение (5), определяем предельно допустимый нормированный КВР сигнала и помехи $g_{\text{доп}}^2$;
- по заданным расстройкам несущих $\Omega_{\text{пк}}$ из выражения (10) находим КВР сигнала и взаимной помехи;
- из выражения (12) находим допустимый КВР с учетом реальной энергетики сигнала;
- подставляем найденные значения $g_{\text{доп}}^2$ и g_k^2 в условие (11);
- если условия (11) и (13) выполняются, то допустимая вероятность ошибки поэлементного приема в канале с флуктуационным шумом и взаимными помехами будет обеспечена.

Данный алгоритм описан для случая воздействия только одной взаимной помехи, что имеет место в области пересечения двух зон действия соседних ККС (желтые области на рис. 1). При наличии двух и более взаимных помех (розовые области на рис. 1) расчетный КВР в выражении (10) определить невозможно. В этом случае для оценки помехозащищенности необходимо непосредственно использовать вероятность ошибки поэлементного приема.

Рассмотрим наиболее сложный случай – незамирающий сигнал и замирающая по релеевскому закону взаимная помеха. Помехи, так же, как и полезный сигнал, в данном случае являются цифровыми с фазовой манипуляцией несущей. Кроме того, спектры фазоманипулированных сигналов являются перекрывающимися. Тогда при некогерентном приеме вероятность ошибки поэлементного приема цифрового сообщения будет определяться выражением [3]

$$p_{\text{ош}} = -0,5 \exp \left[-\frac{h_3^2}{2} \right] \cdot I_0(R_0 h_3^2) + Q \left[\sqrt{\frac{h_3^2}{2} (1 - \sqrt{1 - R_0^2})}; \sqrt{\frac{h_3^2}{2} (1 + \sqrt{1 - R_0^2})} \right], \quad (17)$$

где Q – функция Маркума $Q(y, z) = \int_z^\infty x \exp \left[-\frac{(x^2 + y^2)}{2} \right] \cdot I_0(yx) dx$;

$I_0(R_0 H_3^2)$, $I_0(yx)$ – модифицированные функции Бесселя первого рода нулевого порядка [8]

$$(I_0(z) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \exp(\pm z \cos \theta) d\theta).$$

Для противоположных детерминированных сигналов

$$h_3^2 = h^2 \left[1 - \sum_{k=1}^N \frac{g_{0k}^2 h_{\text{пк}}^2}{1 + h_{\text{пк}}^2} \right] = h^2 (1 - \delta),$$

где g_{0k}^2 – нормированный КВР, определяемый выражением (9); N – число помех;

$$\delta = \sum_{k=1}^N \frac{g_{0k}^2 h_{\text{пк}}^2}{1 + h_{\text{пк}}^2}; R_0 = \delta / (1 - \delta).$$

Таким образом, при наличии двух взаимных помех (красные области на рис. 1) помехозащищенность радиоканалов будет обеспечиваться при условии $p_{\text{ош}} < p_{\text{ош.доп}}$.

Список литературы

1. *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.
2. *Вишневский Ю. Г.* Поля поражения сигналов и электромагнитная защищенность информационных каналов в АСУ ДС: монография / Ю. Г. Вишневский, А. А. Сикарев. – СПб.: Судостроение, 2006. – 356 с.
3. *Сикарев А. А.* Оптимальный прием дискретных сообщений: монография / А. А. Сикарев, А. И. Фалько. – М.: Связь, 1978. – 328 с.
4. *Сикарев А. А.* О Методе исследования влияния помех в каналах передачи дискретной информации / А. А. Сикарев // Радиотехника. – 1968. – Т. 23. – № 8. – С. 83 – 90.
5. *Сикарев А. А.* Функционально устойчивые демодуляторы сложных сигналов: монография / А. А. Сикарев, В. В. Соболев. – М.: Радио и связь, 1988. – 224 с.
6. *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 имени адмирала С. О. Макарова. – СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. – 2014. – Вып. 3. – С. 27 – 32.
7. *Фейнберг Е. Л.* Распространение радиоволн вдоль земной поверхности: монография / Е. Л. Фейнберг. – Изд. 2. – М.: Наука, 1999. – 496 с.
8. Справочник по специальным функциям / под ред. М. Абрамовица и И. Сиган. – М.: Наука, 1979. – 832 с.

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

УДК 621.436

О. К. Безюков,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

В. А. Жуков,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

О. И. Ященко,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ГАЗОМОТОРНОЕ ТОПЛИВО НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

DUAL-FUEL ENGINES ON WATER TRANSPORT

В статье на основании поэтапного ужесточения требований Комитета по защите морской среды Международной морской организации (ИМО) в соответствии с Приложением VI МК МАРПОЛ к выхлопным газам дизельных двигателей морских судов по содержанию в них оксидов серы (SO_x), азота (NO_x) и твердых частиц представлено несколько возможных путей решения. В статье приведены способы использования газового топлива и опасности, возникающие при использовании газомоторного топлива, которые необходимо учитывать при проектировании энергетических установок судов-газоходов. Представлена концепция создания технологической платформы для перевода водного транспорта на газомоторное топливо.

In the article on the basis of the gradual tightening of the requirements of the Committee for the Protection of the Marine Environment of the International Maritime Organization (IMO) in accordance with Annex VI MK MARPOL to the exhaust gases of diesel engines in marine vessels according to their content of sulfur oxides (SO_x), nitrogen (NO_x) and particulate particles presents several possible solutions. The article describes how the use of gas motor fuel and the dangers arising from the use of gas motor fuel, that must be considered when designing of the ship power plant. The article presents the concept of creating a technological platform for the use of natural gas on sea and river transport to reduce the emissions.

Ключевые слова: выхлопные газы, альтернативные виды топлива, парниковые газы, природный газ, биогаз, двухтопливные двигатели, экологические нормативы, технологическая платформа.

Key words: exhaust emission, alternative fuels, greenhouse gases, natural gas, biogas, dual fuel engines, ecological norms, technological platform.

В ТЕЧЕНИЕ длительного периода времени на судах морского и речного флота в качестве моторного топлива применяются различные жидкие углеводородные энергоносители (дизельное, моторное и газотурбинное топлива, флотский мазут), сгорание которых сопровождается выбросом в атмосферу токсичных соединений, оксидов углерода и твердых частиц, что оказывает существенное влияние на окружающую среду. По экспертным оценкам экономический ущерб от нерешенных проблем в области охраны окружающей среды и экологической безопасности в Российской Федерации достигает 10 % от стоимости внутреннего валового продукта.

В больших городах-портах источником основной части загрязнений воздушной среды является транспорт, в том числе водный [1], доля которой составляет 5–7 % от общего количества выбросов вредных веществ стационарных энергетических установок и наземных транспортных средств. Однако из-за большой агрегатной мощности судовые дизели могут являться основными

источником загрязнения атмосферы в таких локальных зонах, как порты, судоходные гидротехнические сооружения, акватории рек и каналов в черте города особенно в период летней навигации.

Эмиссия токсичных соединений и твердых частиц с отработавшими газами двигателей различного назначения регламентируется российскими и международными стандартами (Euro, IMO, TA-Luft и другие), требования которых к судовым дизелям приведены в табл. 1.

Таблица 1

Нормы выбросов с отработавшими газами судовых дизелей

Страна, стандарт, год введения	Нормируемый параметр	Значение нормы, г/(кВт·ч)	Классификационный признак, испытательная процедура
Россия, ГОСТ Р 51249, 2000	E_{NOx} E_{CO} E_{CH}	9,8 – 17 3,0 1,0	Четырехступенчатые циклы (ISO 8178-4) $E_{NOx} = f(n)$
Стандарт IMO, Techn.code - NO _x	E_{NOx}	9,8 – 17	Четырехступенчатые циклы (ISO 8178-4) $E_{NOx} = f(n)$
США, Marine st., 1998	E_{NOx} E_{CO} E_{CH} E_C	11,4 6,2 1,3 0,54	Четырехступенчатые циклы

Выбросы вредных веществ энергетическими установками судов определяются на основе Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ 73/78) [2]. Действующие в настоящее время нормы выбросов продуктов неполного сгорания, серы и оксидов азота энергетическими установками судов разработаны в 1997 г. и официально вступили в действие в 2007 г. В ближайшие годы следует ожидать ужесточения экологических требований к судовым дизелям прежде всего по содержанию в отработавших газах оксидов азота NO_x, снижение выбросов которых является одной из актуальных задач современного двигателестроения. Экологический ущерб, вызываемый работой тепловых двигателей, заключается не только в материальном загрязнении среды отработавшими газами, но и в выбросах в окружающую среду большого количества низкотемпературной (низкопотенциальной) теплоты.

Тепловое загрязнение приводит к различным климатическим аномалиям, которые уже в недалеком будущем могут приобрести глобальный и необратимый характер. Существенное влияние на данные процессы оказывает «парниковый эффект», приводящий к изменению характера лучистого теплообмена между поверхностью и приземной атмосферой вследствие увеличения содержания в ней диоксида углерода CO₂ [3]. Увеличение содержания CO₂ в первую очередь вызвано работой тепловых двигателей, потребляющих углеводородные виды топлива.

В 1988 г. Всемирная метеорологическая организация в соответствии с программой ООН по окружающей среде создала Межправительственную группу экспертов по изменению климата (МГЭИК) планеты, которая периодически публикует доклады об изменении климата и возможном влиянии этих изменений на различные виды хозяйственной деятельности. По данным МГЭИК «глобальное потепление» климата, начавшееся с середины 70-х гг. XX в., не вызывает сомнения [4], [5]. Вступившая в силу в 1994 г. Рамочная конвенция ООН об изменении климата (UN FCCC) и Киотский протокол 1997 г. установили обязательства для стран-участниц в отношении снижения выбросов CO₂.

В 1997 г. на Международной конференции сторон Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ) была принята Резолюция 8 по «выбросам углекислого газа с судов», в которой Международной морской организации (ИМО) в сотрудничестве с Секретариатом Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций (ООН) об изменении климата было предложено предпринять меры по изучению влияния выбросов парниковых газов с судов с целью установления количества и относительного процентного содержания выбросов углекислого газа

с судов в глобальном кадастре. В Резолюции А.963(23) «Политика и практика ИМО, относящаяся к сокращению выбросов парниковых газов с судов» 2003 г. отмечается, что доля выбросов парниковых газов в международном судоходстве составляет примерно 1,8 % мировых выбросов CO_2 , а также констатируется, что сокращение этих выбросов может осуществляться посредством технических и эксплуатационных мер. На основании оценки, проведенной в 2007 г., доля выбросов парниковых газов в международном судоходстве уже составила примерно 2,7 % мировых выбросов CO_2 . В качестве основной меры повышения эффективности судна в отношении выбросов парниковых газов было предложено ввести конструктивный индекс CO_2 (далее – конструктивный коэффициент энергетической эффективности). В период с 2008 по 2012 гг. развитые страны должны были сократить выбросы парниковых газов, как минимум, на 5 %. В дополнение к этому каждая страна брала обязательство снизить выбросы на фиксированную, но различную для каждой из них величину (страны ЕС – на 8 %, РФ – на 0 %). Следует отметить, что до 2008 г. эта проблема решалась добровольно.

Установленные требования фактически означают необходимость принятия следующих мер: снижение расхода топлива, которое неизбежно приведет к эквивалентному снижению выбросов с ОГ продуктов неполного сгорания топлива: сажи, углеводородов, оксидов углеводородов, бенз(а)пирена, формальдегида; использование новых источников энергии; применение альтернативных видов топлива.

Введение инструмента оценки эффективности энергоиспользования в форме конструктивного коэффициента энергетической эффективности и снижение расходов традиционных углеводородных топлив судовыми энергетическими установками можно рассматривать как первый этап снижения выброса парниковых газов. В 2010 г. на 61-й сессии Комитета по защите морской среды был отмечен значительный прогресс в решении проблемы снижения выбросов парниковых газов за счет разработки проекта обязательных Правил управления энергоэффективностью судов, в которых, в частности, устанавливаются требования конструктивного коэффициента энергетической эффективности и плану по управлению энергетической эффективностью судна.

Для дальнейшего снижения влияния морского и речного флота на качество окружающей среды необходима реорганизация энергоиспользования в судовых энергетических установках (СЭУ). При проведении такой реорганизации необходимо выполнить следующее:

- определить перспективные энергоисточники (виды альтернативных и перспективных видов топлива), способные заменить углеводородные виды топлива;
- оценить целесообразность использования этих видов топлива в различных сегментах водного транспорта с энергоэкологической точки зрения;
- разработать план организационных и технических мероприятий, необходимых для перевода СЭУ на газовое топливо.

Перспективными газообразными топливами следует считать природный газ и альтернативные виды топлива, представляющие собой химические соединения, не являющиеся продуктами переработки нефти.

К перспективным и альтернативным видам топлива в настоящее время относятся:

- природный газ – метан (CH_4);
- водород (H_2);
- биогаз на основе метана;
- сжиженные углеводородные газы: пропан (C_3H_8) и бутан (C_4H_{10}).

В странах Евросоюза к 2020 г. предполагается замена 23 % топлива на альтернативные виды, из них 10 % – на природный газ, 8 % – на биогаз и 5 % – на водород.

Для водного транспорта расширение применения природного газа представляется наиболее вероятным. Использование водорода и биогаза с учетом объемов их производства и особенностей получения может рассматриваться лишь в отдаленной перспективе. Известно, что природный газ

на 98–99 % состоит из метана. Исходя из этого определены [6] массовые доли компонентов продуктов сгорания и количество отработавших газов и диоксида углерода в них на 100 кВт мощности двигателя (табл. 2) при полном сгорании топлива.

Таблица 2

Состав продуктов сгорания различных видов топлива

Топливо	Элементарный состав		Массовые доли				Количество отработавших газов, кг/ч	Количество CO ₂ , кг/ч
	С	Н	g _{CO2}	g _{H2O}	g _{N2}	g _{O2}		
Дизельное	0,872	0,128	0,0700	0,0352	0,7424	0,1484	1015,128	71,94
Природный газ (метан)	0,75	0,25	0,0512	0,05162	0,748	0,149	1028,3	52,67

Характерной особенностью газового топлива является повышенное по сравнению с традиционными углеводородными видами топлива соотношение «водород – углерод» (табл. 3), что обеспечивает более высокое качество рабочего процесса и экологическую чистоту продуктов сгорания.

Таблица 3

Соотношение «водород – углерод» для различных видов топлива

Топливо	Химическая формула	Соотношение водород/углерод
Метан	CH ₄	4,0
Пропан	C ₃ H ₈	2,7
Бутан	C ₄ H ₁₀	2,5
Бензин	C _m H _n	2,0
Дизельное топливо	C _m H _n	1,8
Мазут	C _m H _n	1,7

Проведенное сравнение показывает, что применение в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания (ДВС) природного газа обеспечивает существенное сокращение количества вредных выбросов по сравнению с использованием топлива на основе нефти. При этом полностью исключаются выбросы серы, кардинально (на 90 %) снижаются выбросы оксидов азота (NO_x), снижение выбросов парниковых газов на эквивалентную мощность составляет 25 – 30 %, что является дополнительным аргументом в пользу перевода судовых двигателей на газовое топливо в свете современных экологических требований ИМО.

При реализации программы расширения использования газового топлива на водном транспорте Российской Федерации следует учитывать имеющийся мировой опыт, подтверждающий перспективность данного направления совершенствования СЭУ. В 1982 г. в Австралии было построено первое грузовое судно, работающее на сжатом газе, «Accolade», в 1985 и 1988 гг. в Канаде были спущены на воду однотипные паромы «Klatawa» и «Kulleet», на которых газ под давлением 25 МПа находился в 50 стальных баллонах общей вместимостью 14,7 м³, периодически пополняемых с помощью установленного на берегу компрессора, подключенного к городской газораспределительной сети. В 1994 и 2000 гг. в Голландии были построены прогулочные суда, работающие на сжатом природном газе (КПГ) «Mondriaan», «Escher», «Rembrandt» и «VanGogh». Из-за ограниченности допустимого объема емкостей, размещаемых в трюме судна без ущерба для его основных функций, а также в связи с необходимостью наличия в районе плавания специальной инфраструктуры для пополнения запасов топлива, КПГ не получил широкого применения на флоте.

Более перспективным представляется внедрение сжиженного природного газа (СПГ), поскольку он занимает в 2,5 – 3 раза меньше места [7]. Первым судном, не относящимся к классу газовозов и работающим на СПГ, явился построенный в 2000 г. в Норвегии паром «Glutra». В его двух подпалубных криогенных танках суммарной вместимостью 54 м³ размещается 10 т топлива, которого хватает на пять-шесть суток, а пополнение запасов осуществляется с помощью специального автомобиля-газовоза. В 2008 г. в Бразилии был спущен на воду грузопассажирский паром «Ivete Sangalo» на СПГ. Положительные результаты эксплуатации в Таиланде 12 контейнеровозов на СПГ, построенных в Китае в 2009–2010 гг., вызвали закономерный интерес со стороны международного бизнеса, вследствие чего китайские верфи получили заказ на создание еще 12 аналогичных судов.

Наибольшее распространение СПГ получил на судах, обеспечивающих освоение, эксплуатацию и снабжение морских нефтегазопромыслов. Только на морских месторождениях Норвегии судов такого типа задействовано порядка 20 единиц и их строительство продолжается [8]. По оценке специалистов норвежского классификационного общества DNV, проектируемое судно типа VLCC, использующее СПГ, будет обладать следующими преимуществами по сравнению с обычным танкером указанного класса: на 34 % более низкий уровень выбросов CO₂, на 80 % более низкий уровень выбросов NO_x, на 95 % – SO_x, на 25 % меньшее энергопотребление. К аналогичным заключениям пришли эксперты судостроительной компании «STX France». Японская компания «Oshima Shipbuilding Co» совместно с норвежским классификационным обществом DNV представила первые итоги реализации концепции «ECO-Ship 2020», в рамках которой разрабатывается проект балкера с большим процентом раскрытия палубы (OHBC – Open Hatch Bulk Carrier). Преследуется цель создания судна с минимально возможным уровнем затрат на топливо, удовлетворяющего экологическим требованиям и одновременно являющегося максимально эффективным с точки зрения эксплуатации. За счет применения СПГ балкер не будет иметь выбросов SO_x и твердых частиц, на 90 % сократится NO_x и, как минимум, на 50 % – CO₂.

Крупной корпорацией по производству двигателей и другого оборудования, работающего на газомоторном топливе, является финская компания «Wärtsilä», которая имеет целую линейку двигателей, работающих не только на дизельном тяжелом топливе, но и на природном нефтяном газе и биогазе. Мировой флот судов СПГ стремительно растет для удовлетворения растущего спроса. Так, по состоянию на ноябрь 2010 г. в его составе было 360 судов СПГ. В стадии постройки при этом находилось еще 24 судна СПГ.

В 1984 г., в соответствии с постановлением Совета Министров СССР № 751, Минречфлот возложил на Ленинградский институт водного транспорта функции головной научно-исследовательской организации по решению вопросов использования газового топлива на речном транспорте. В результате в 1995 г. под руководством канд. техн. наук Н. Н. Фомина были выполнены успешные эксплуатационные испытания на природном газе первого в России пассажирского судна-газохода, созданного на базе т/х «Нева-1» (проект Р-35). В его создании принимали участие специалисты нашего вуза, АО «Инженерный центр судостроения», СПбГПУ, АО «Северо-Западное пароходство» и АОЗТ «Сигма-Газ».

Одним из наиболее перспективных направлений использования газового топлива в СЭУ является перевод на газомоторное топливо судов, работающих в черте города: прогулочных и экскурсионных судов, буксиров, теплоходов портового флота и лоцманских катеров. С одной стороны, именно для этих судов проблема экологической безопасности стоит особенно остро, а с другой – для их заправки топливом может быть использована городская газовая инфраструктура. Перспективным является также использование судов-газоходов в районах Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера, где находятся предприятия по добыче природного газа и отсутствуют нефтеперерабатывающие предприятия, что вызывает трудность в обеспечении флота топливом нефтяного происхождения.

В России в 2006 г. в рамках проекта Сахалин-2 в поселке Пригородное на юге Сахалина был построен первый завод СПГ (запущен 18 февраля 2009 г.). Также планируется к созданию проект «Владивосток-СПГ» на полуострове Ломоносова (бухта Перевозная) в Хасанском районе и строи-

тельство завода в деревне Териберка в Мурманской области для транспортировки газа со Штокмановского месторождения потребителям в Атлантическом регионе. Активными темпами ведется реализация масштабного проекта по созданию в России крупного центра по производству СПГ на базе Южно-Тамбейского месторождения на Ямале и строительство морского порта в поселке Сабетта.

Расширение использования газового топлива на водном транспорте, целесообразное с экологической точки зрения и необходимое для удовлетворения современных требований ИМО, делает необходимым создание методологии проектирования СЭУ, предназначенных для работы на газомоторном топливе, при этом особое внимание следует уделять вопросам безопасности.

В работе [9], представленной Морской администрацией Дании на 83-й сессии Комитета по безопасности на море Международной морской организации ИМО, приводится анализ аварийности на газовозах в течение периода 1965 – 2005 гг., в течение которого на судах данного класса было зафиксировано 182 аварийных случая, из которых 24 случая не связаны с эксплуатацией судна (аварии на верфях во время постройки и ремонта, нападения пиратов и т.п.). Исходя из статистики аварий, приводятся следующие виды опасностей, обусловленных наличием на судне СПГ и его паров:

1 – объемный взрыв газа, возникающий в результате его утечки в газообразном состоянии в замкнутом объеме при наличии источника воспламенения (источником воспламенения может служить открытое пламя, электрическая искра или горячая поверхность с температурой выше температуры самовоспламенения (для метана – 540 °C));

2 – взрыв емкостей для хранения газа в результате повышения давления;

3 – пожар в результате горения разлившегося газа или струйный пожар в результате горения газа под давлением;

4 – газовое облако, в котором может возникнуть пожар.

5 – быстрое фазовое превращение при попадании сжиженного газа в воду, аналогичное взрыву без возгорания;

6 – «rollover» – резкое значительное увеличение давления в емкости для жидкого газа в результате перемешивания слоев газа с различной плотностью и резкого увеличения интенсивности парообразования в танке СПГ;

7 – удушье в результате попадания человека в облако газа;

8 – травмы от низких температур в результате воздействия сжиженного газа при контакте с кожей человека;

9 – загрязнение атмосферы в результате утечки газа.

При рассмотрении этих опасностей применительно к судам, использующим газовое топливо, очевидно, что для различных типов энергоустановок и различных способов хранения газа на судне не все опасности одинаково значимы. Например, при хранении газа в баллонах под давлением в закрытом помещении опасности пп. 5, 6 и 8 отсутствуют, но увеличивается вероятность реализации опасности пп. 1 и 7. В случае хранения газовых баллонов на открытых участках вероятность возникновения опасностей пп. 1 и 7 существенно снижается, но при этом повышается вероятность опасности п. 9.

Следует отметить, что наибольшую опасность представляют аварии, связанные с утечкой газа, вызывающей пожары и взрывы. Риск возникновения указанных опасностей необходимо учитывать при выборе способа хранения и использования газового топлива на судне при проектировании его энергетической установки. Имеющийся опыт использования газомоторного топлива на водном транспорте свидетельствует о том, что наиболее перспективным является применение СПГ, поэтому конструкции емкостей для его хранения и местам их расположения должно уделяться особое внимание.

Известны три основных способа использования газомоторного топлива в поршневых ДВС:

– реализация рабочего цикла, приближенного к циклу Отто, с внешним смесеобразованием и последующим сжатием газозооушной смеси в цилиндре с воспламенением от искры;

– двухтопливные, работающие по циклу, приближенному к циклу Отто, с воспламенением топлива, подаваемого в цилиндр двигателя;

– двухтопливные, работающие по циклу, приближенному к циклу Дизеля, со сжатием в цилиндре двигателя воздуха и впрыском газового и дизельного топлива.

Для СЭУ наиболее рациональным является применение газодизельного цикла, который может реализовываться как с внешним, так и с внутренним смесеобразованием.

При внешнем смесеобразовании из впускного коллектора в цилиндры дизельного двигателя поступает газозвдушная смесь, сжимаемая в цилиндре. В конце такта сжатия в цилиндр впрыскивается небольшое количество дизельного топлива, которое необходимо вследствие того, что давление в конце сжатия не обеспечивает достижения температуры самовоспламенения метана, составляющей 650–720 °С и значительно превышающей температуру самовоспламенения дизельного топлива (320–380 °С). Такой способ воспламенения, обеспечивающий возможность быстрого перехода с газового топлива на дизельное и обратно, реализован фирмой «Wärtsilä» в двухтопливном двигателе 20DF. У быстроходных дизелей расход дизельного топлива, используемого для воспламенения и полного сгорания газозвдушной смеси (пилотного), составляет 10–20 % от количества, расходуемого при обычном дизельном процессе. В средне- и малооборотных дизелях для воспламенения требуется 5–8 % дизельного топлива. Созданы опытные модели двигателей, использующие 1 % пилотного топлива и работы по дальнейшему уменьшению его количества продолжаются.

Газодизельный цикл с внутренним смесеобразованием при непосредственном впрыске газа в цилиндр предпочтительнее по сравнению с газодизельным циклом с внешним смесеобразованием, так как степень сжатия в нем не ограничена вероятностью возникновения детонации газозвдушной смеси в процессе ее сжатия в цилиндре. Основной проблемой внутреннего смесеобразования является необходимость подачи газа в цилиндр под высоким давлением, что делает вероятность утечки газа значительно выше, чем при использовании двигателя с внешним смесеобразованием. Газодизельный процесс с внутренним смесеобразованием с непосредственным впрыском газа в цилиндр реализован фирмой MAN в двигателе L51/60DF, в конструкции которого предусмотрен впрыск в цилиндр газа и дизельного топлива, причем минимально необходимое количество пилотного дизельного топлива уменьшено до 1 % от общего потребления. Помимо экономии дизельного топлива уменьшение пилотной дозы обеспечивает снижение выбросов оксидов азота. Эмиссия NO_x при работе на газовом топливе двигателем L51/60DF составляет 1,5 г/(кВт·ч), что полностью соответствует требованиям Прил. VI к МК МАРПОЛ 73/78 (уровень Tier III) для особых районов контроля выбросов оксидов азота.

Проведенный анализ свидетельствует о целесообразности продолжения работ по созданию отечественных конкурентоспособных судов-газоходов и подготовке предложений по переводу водного транспорта на газомоторное топливо. ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова» подготовлены предложения по разработке технологической платформы – межотраслевой научно-производственной программы «Водный транспорт на газомоторном топливе». Создание технологической платформы обеспечит координацию исследований и разработок по внедрению газомоторного топлива на водном транспорте и тиражирование экономических, организационных, правовых, технических и технологических инноваций, обеспечивающих перевод водного транспорта на газомоторное топливо.

Технологическая платформа включает следующие основные направления:

- разработка предложений по созданию экономических, организационных и правовых условий по стимулированию отраслевых организаций для использования газомоторного топлива;
- выбор и обоснование целесообразности применения компримированного, сжиженного природного или углеводородного газа в зависимости от типа судов, их грузоподъемности, автономности и бассейна плавания, а также видов наземного оборудования;
- разработка методики оценки энергоэкологической эффективности, научно-технического уровня и качества газовых, газодизельных, двухтопливных главных и вспомогательных двигате-

лей и газового оборудования судов и наземных транспортных средств, производимых российскими и зарубежными предприятиями;

- разработка предложений по созданию унифицированного мощностного ряда дизельных энергетических установок судов-газоходов;

- разработка предложений по созданию схем и выбору унифицированного оборудования для бункеровки судов газомоторным топливом, обеспечение его унификации в соответствии с международными требованиями;

- выбор методов, контрольно-измерительных приборов и разработка инструкций по обеспечению пожаро- взрывобезопасности судов-газоходов, бункеровочных баз и судов-бункеровщиков;

- разработка предложений по совершенствованию Правил морского и речного регистров, а также технических регламентов;

- согласование программ использования газомоторного топлива на водном транспорте с аналогичными программами на других видах транспорта и экономики РФ в целом;

- разработка программ осуществления подготовки и переподготовки кадров для эксплуатации газового оборудования на судах-газоходах и бункеровочных базах.

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует о том, что широкое внедрение использования газомоторного топлива на водном транспорте является целесообразным и актуальным в свете современных экологических нормативов и требований, предъявляемых ИМО. Для решения данной задачи необходимо совершенствование методологии проектирования судов различного назначения (газовозы, буксиры, пассажирские) с комбинированными энергетическими установками, что позволит ускорить процесс модернизации существующих и строительства новых судов, работающих на газомоторном топливе и отвечающих всем современным требованиям.

Конвертацию судовых ДВС в газовые и газодизельные двигатели на российских дизелестроительных заводах целесообразно осуществлять в рамках реализации подпрограммы «Создание и организация производства в Российской Федерации в 2011 – 2015 гг. дизельных двигателей и их компонентов нового поколения», финансируемой Минпромторгом.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод о том, что использование СПГ позволит не только снизить вредное воздействие на атмосферу портовых акваторий и водных путей в соответствии с экологическими требованиями ИМО, но и сократит эксплуатационные затраты и себестоимость перевозок.

Список литературы

1. Котиков Ю. Г. Транспортная энергетика: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений/ Ю. Г. Котиков, В. Н. Ложкин. – М.: ИЦ «Академия», 2006. – 272 с.
2. Международная конвенция по предотвращению загрязнений с судов (МАРПОЛ 73/78). – Кн. 3, прил. VI. Предотвращение загрязнения атмосферы судами. – СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2000. – С. 1–281.
3. Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы / Под ред. Б. Болисы, Б. Р. Деева, Дж. Ягера, Р. Уоррики; Пер. с англ. под ред. М. Я. Антоновского и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 557 с.
4. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме – М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Госгидромет). – Т. 1: Изменения климата, 2008. – 230 с.
5. Мировое (глобальное) потепление на планете Земля [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.worldwarming.info/printout253.htm>.

6. Хачиян А. С. Сравнительная оценка выбросов двуокиси углерода различными двигателями / А. С. Хачиян // Перспективы развития энергетических установок для автотранспортного комплекса: сб. науч. тр. МАДИ (ТУ). – М., 2006. – С. 4–9.

7. Бармин И. В. Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра / И. В. Бармин, И. Д. Кулис. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 256 с.

8. Власов А. А. Придет ли природный газ на смену мазуту? [Электронный ресурс] / Электронные данные. – Режим доступа: http://www.korabel.ru/news/comments/prid_t_li_prirodnii_gaz_na_smenu_mazutu.htm

9. MSC 83/INF.3 «FSA – Liquefied Natural Gas (LNG) Carriers Details of the Formal Safety Assessment», IMO, 2007.

УДК 621.314

А. В. Григорьев,
канд. техн. наук,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

В. Ю. Колесниченко,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

IMPROVING THE EFFICIENCY OF MARINE DIESEL POWER PLANTS

Приведены опытные данные загрузки дизель-генераторных агрегатов нефтяного танкера. Показано, что данные агрегаты работают при переменной нагрузке, режим их работы необходимо оптимизировать. Важной задачей является сохранение постоянства частоты переменного напряжения при изменении нагрузок. Выполненный анализ загрузки основного и вспомогательных дизель-генераторов показал, что для большинства режимов их работы происходит либо перегрузка основного генератора, либо при параллельной работе нескольких генераторов их общая нагрузка снижается до 50 %. Анализ нагрузочных характеристик дизеля показал, что минимум расхода топлива приходится при его частичной нагрузке. В статье предложен метод повышения эффективности работы дизель-генераторных электростанций при переменной частоте вращения вала двигателя за счет стабилизации частоты электрической энергии до необходимого значения, реализованного в виде полупроводникового преобразователя частоты, состоящего из выпрямителя и инвертора напряжения. Экономия топлива в данном случае может достигать 20 %.

Given experimental data of load diesel-generator sets, oil tankers. Is shown that these units operate at variable load, the mode of operation must Opti-myzerowaste. An important task is to maintain the constancy of the frequency of the AC voltage when changing loads. The analysis of the loading of the main and auxiliary diesel generators showed that for most of their operation is either overload the main generator, or when the parallel operation of multiple generators of their total load is reduced to 50 %. Analysis of load characteristics of a diesel engine showed that the minimum fuel consumption accounts for partial load. A method of increasing the efficiency of diesel generator power at a variable frequency motor shaft rotation due to frequency stabilization of electric power to the required values, implemented as semiconductor frequency Converter consisting of a rectifier and voltage source inverter. Fuel economy in this case can reach 20 %.

Ключевые слова: дизель-генератор, электростанция, нагрузка, частота.

Key words: diesel-generator, power plant, load, frequency.

В КАЧЕСТВЕ приводных двигателей электрических генераторов, используемых на судах для получения электроэнергии, применяются дизельные двигатели, паровые и газовые турбины. Применение последних в построении судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) является особенно актуальным на судах-газовозах, где перевозимый груз может быть использован как основной энергоноситель. Однако благодаря ряду достоинств, основными из которых для судовых электростанций является быстрый ввод в эксплуатацию и экономичность, наибольшее распространение на сегодняшний день получили дизельные двигатели.

Для обеспечения постоянства частоты переменного напряжения частота вращения вала двигателя при изменении нагрузки должна оставаться постоянной. При проектировании САЭС в целях экономии моторесурса и дорогостоящих горюче-смазочных материалов комплектацию дизель-генераторных агрегатов (ДГА) выбирают так, чтобы в наиболее продолжительных режимах работы судна загрузка ДГА составляла 70–80 % номинальной мощности [1], [2].

Для этого каждый из возможных эксплуатационных режимов работы судна приводят в специальной таблице нагрузок, отражающей количество приемников электрической энергии, их коэффициент загрузки и одновременности, а также суммарную мощность. Однако, как показывает опыт эксплуатации, нагрузка судовой электростанции может изменяться в достаточно широком диапазоне [3], [4].

На рис. 1 представлен график изменения нагрузки ДГА судна класса VLCC (Very Large Crude Carrier) «Ayacucho» 2013 г. постройки водоизмещением 320 тыс. т.

Судно предназначено для перевозки нефти и нефтепродуктов и работает на линии между Китаем и Венесуэлой, периодически делая заходы в нефтеразгрузочные терминалы портов Карибского бассейна.

Из рис. 1 видно, что нагрузка СЭЭС не является долевой и большую часть времени не превышает 60 % от номинальной мощности работающего ДГА. При параллельной работе ДГА работают с нагрузкой не более 45–50 %. Включение ДГА на параллельную работу вызвано необходимостью включения на длительный период времени приемника электроэнергии, соизмеримой с ДГА мощностью, в частности электропривода балластного насоса, или одновременного пуска нескольких мощных приемников: электропривода пожарного насоса, главного пускового компрессора и др.

Низкий коэффициент нагрузки нескольких работающих ДГА может являться результатом «неудачного» выбора мощности генератора при проектировании судна. Для предотвращения подобных ситуаций электростанции некоторых судов данной серии («Genmar Vision», «Genmar Victory») при использовании менее энергоемких режимов эксплуатации оснащены вспомогательными ДГА меньшей мощности, что повышает стоимость СЭЭС [5], [6].

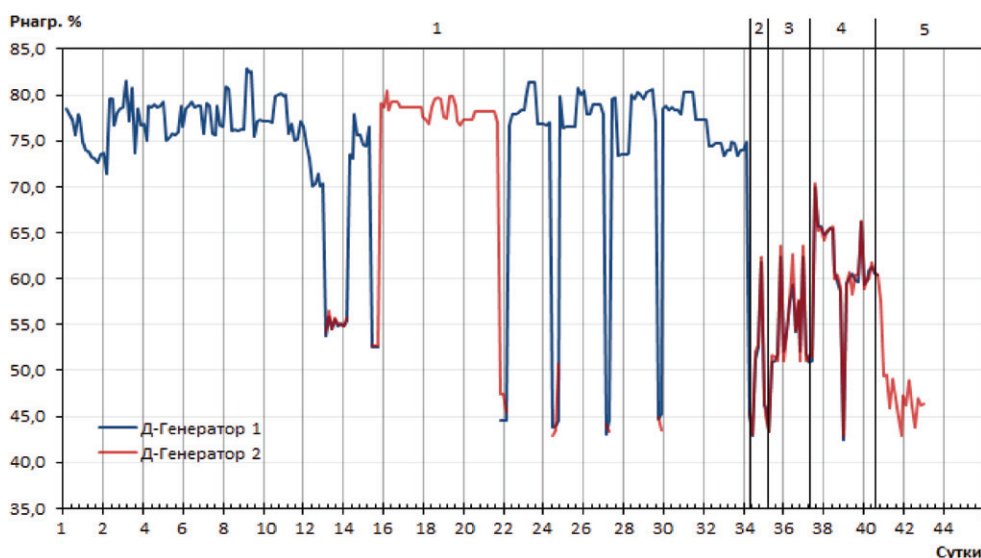


Рис. 1. График изменения нагрузки ДГА судна «Ayacucho» в различных режимах эксплуатации: 1 – ходовой; 2 – маневренный; 3 – выгрузка; 4 – работа балластных насосов; 5 – стоянка на якорю

Работа ДГА на долеой нагрузке при постоянстве частоты вращения существенно повышает расход горюче-смазочных материалов, что видно из рис. 3, на котором представлен удельный расход топлива в функции нагрузки вспомогательного дизеля [7], [8].

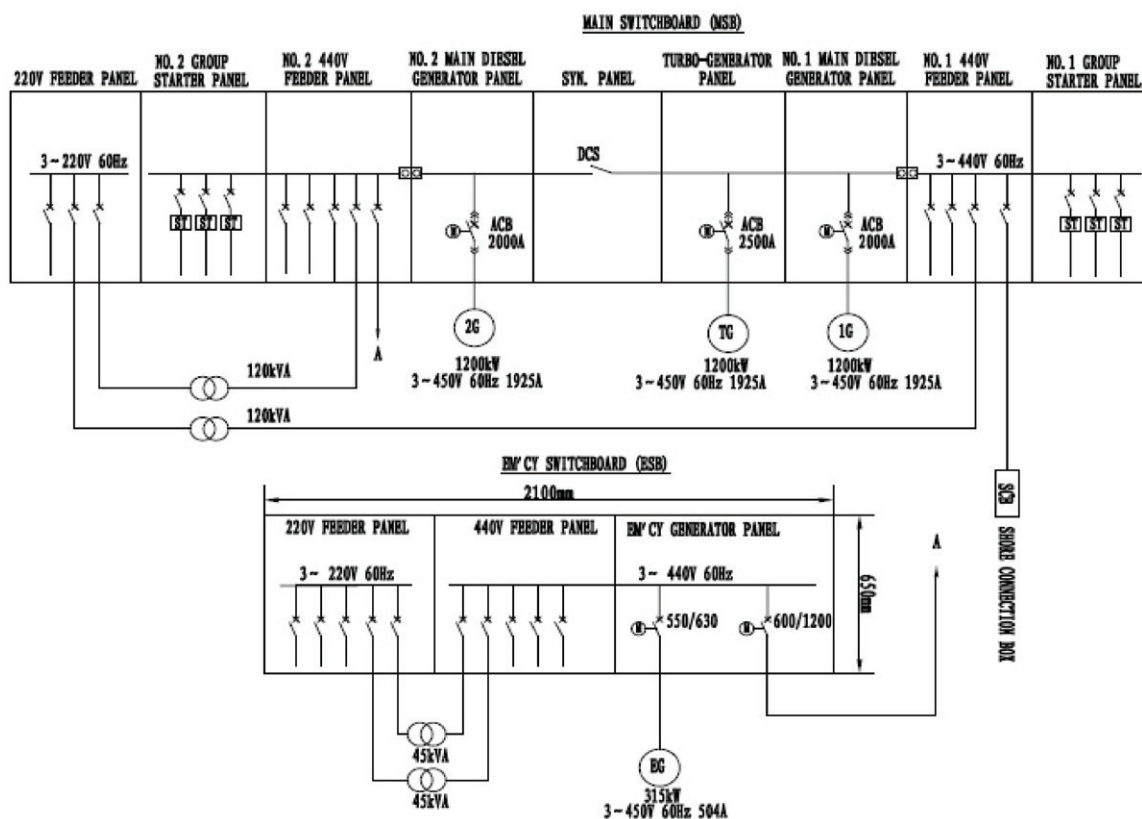


Рис. 2. Однолинейная схема СЭЭС т/х «Ауасучо»

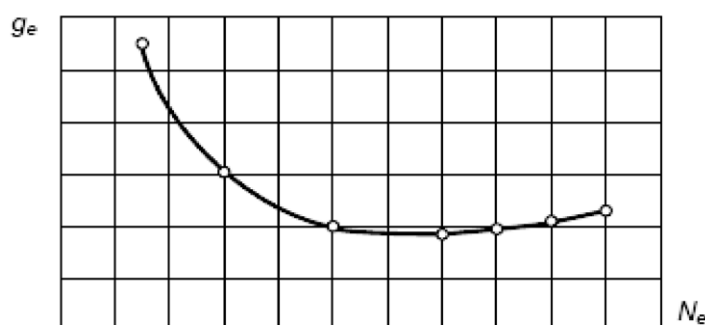


Рис. 3. Нагрузочная характеристика дизеля:
 g_e – удельный расход топлива; N_e – эффективная мощность

Анализ нагрузочной характеристики дизеля (рис. 3) показывает, что минимум расхода топлива приходится при нагрузке около 80% от номинальной [9]. В целях повышения эффективности судовой электростанции путем снижения расхода топлива перспективным является создание СЭЭС, в которой вспомогательный дизель работает с переменной частотой вращения в функции нагрузки. Оценить удельный эффективный расход топлива g_e в зависимости от нагрузки можно при помощи универсальной (многопараметровой) характеристики вспомогательного дизеля [10].

Семейство кривых на графике, представленном на рис. 4, отображается при различных значениях удельного эффективного расхода топлива g_e , которые являются минимальными внутри семейства и возрастают по мере удаления.

Штрихпунктирной линией на рисунке обозначен режим эксплуатации вспомогательного дизеля при наименьшем расходе топлива.

Анализ графических зависимостей, представленных на рис. 4, показывает, что обеспечение оптимального расхода топлива вспомогательного дизеля, работающего при изменяющейся нагрузке, возможно регулированием его частоты вращения.

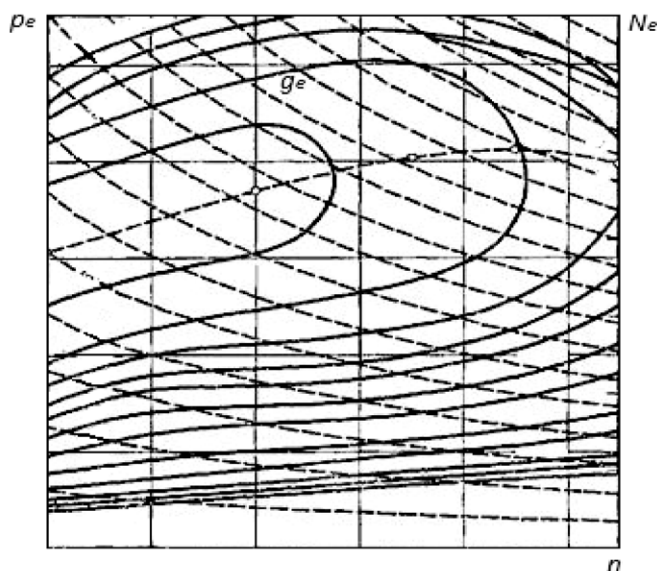


Рис. 4. Универсальная характеристика дизеля

Работа ДГА с переменной частотой вращения приводит к изменению частоты напряжения судовой сети. Для поддержания постоянства частоты в судовой сети можно использовать полупроводниковые преобразователи частоты (ППЧ) [11]. На рис. 5 приведена функциональная схема вентильного ДГА, работающего с переменной частотой вращения.

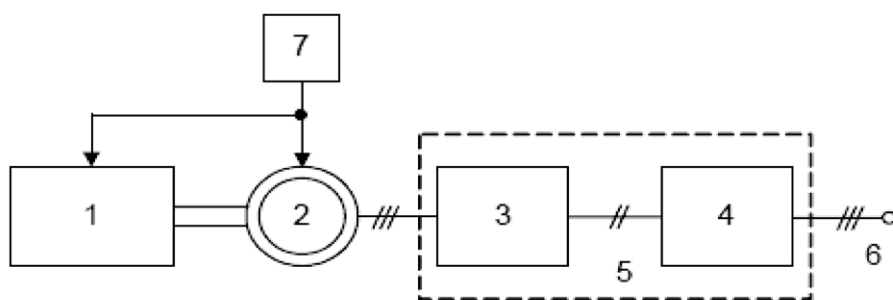


Рис. 5. Функциональная схема вентильного ДГА:

1 – вспомогательный дизель; 2 – генератор; 3 – выпрямитель; 4 – инвертор; 5 – ППЧ;
6 – судовой сети; 7 – система управления частотой и напряжением

При изменении нагрузки в судовой сети меняется частота вращения вентильного ДГА. Постоянство частоты тока в судовой сети осуществляется за счет ППЧ, выполненного со звеном постоянного тока на базе активного выпрямителя 1 и автономного инвертора 2.

Как показал проведенный технико-экономический анализ, экономия топлива при использовании вентильных ДГА в составе современных СЭС может достигать 20% и более [12].

Список литературы

1. *Алешков О. А.* Повышение топливной экономичности первичного дизеля в составе многофункционального энерготехнологического комплекса оптимизацией скоростного режима: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О. А. Алешков. – Барнаул, 2009.
2. *Григорьев А. В.* Результаты ходовых испытаний единой электроэнергетической установки гидрографического судна «Вайгач» / А. В. Григорьев, Д. И. Улитовский, Е. А. Глеклер // Судостроение. – 2008. – № 1. – С. 33–35.
3. *Баранов А. П.* Современные и перспективные валогенераторные установки / А. П. Баранов, А. В. Григорьев, В. А. Петухов // Морской флот. – 2003. – № 3. – С. 28.
4. *Петухов В.* Совершенствование эксплуатационных режимов судовых дизель-генераторных агрегатов / В. Петухов, А. Баранов, А. Григорьев // Zeszyty naukowe NR 68: сб. рецензированный. – ISSN 0209-2069. «Obsługiwanie maszyn i urządzeń okrentowych» («Обслуживание двигателей и судовых технических средств»). Typografia i skład. – Dział Wydawnictw Wyższej Szkoły Morskiej, Szczecin, 2003. – С. 359–366.
5. *Григорьев А. В.* К вопросу о повышении экономичности судовых и корабельных ДГА : сб. трудов научно-практического семинара по вопросам создания, боевой и повседневной эксплуатации электроэнергетики кораблей ВМФ, В 95047/ А. В. Григорьев. – СПб: ВМА им. адм. флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова. – 2004. – С. 40–43.
6. *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.
7. *Григорьев А. В.* Эксплуатация судовых систем электроснабжения / А. В. Григорьев, А. В. Лемин. – СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2009.
8. *Григорьев А. В.* Анализ нагрузки дизель-генераторов нефтехимовозов серии «AZOV SEA» в эксплуатационных режимах / А. В. Григорьев, А. А. Петров // Эксплуатация морского транспорта. – 2005. – Вып. 44. – С. 158–164.
9. *Григорьев А. В.* Результаты экспериментальных исследований работы ДГ с отрицательной неравномерностью скоростной характеристики / А. В. Григорьев, Г. А. Новоселов // Эксплуатация морского транспорта. – 2005. – Вып. 44. – С. 165–173.
10. *Григорьев А. В.* Оптимальная регулировочная характеристика дизель-генераторного агрегата / А. В. Григорьев // Электросистемы. – 2006. – № 1 (13) – С. 23–25.
11. *Григорьев А. В.* Исследование дизель-генератора, работающего с переменной частотой вращения, на компьютерной модели / А. В. Григорьев // Электросистемы. – 2006. – № 2 (14). – С. 17–19.
12. *Григорьев А. В.* Моделирование дизель-генераторных агрегатов с использованием результатов экспериментальных исследований / А. В. Григорьев, Р. И. Ивановский, Е. А. Глеклер // Компьютерное моделирование 2009: тр. Междунар. науч.-техн. конф. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – С. 109–113.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ СИНТЕЗА КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ
РАЗМЕЩЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОБЪЕКТА
В КОНСТРУКТИВНЫХ ЕДИНИЦАХ ОГРАНИЧЕННОГО ОБЪЕМА
ПО МИНИМУМУ ТОЧЕК КОНТРОЛЯ**

**METHODICAL QUESTIONS OF CONTROLLABILITY SYNTHESIS
IN TERMS OF OBJECT COMPONENTS PLACEMENT
IN LIMITED VOLUME CONSTRUCTIVE UNITS
BY CONTROL POINTS MINIMUM**

В статье рассмотрены два подхода к синтезу контролепригодности размещения компонентов объекта, а также методические и теоретические вопросы решения задач синтеза. Изложены аспекты и составляющие системной контролепригодности. Предложено решение задачи синтеза контролепригодности объекта путем разбиения на подклассы меньшей размерности. Показано, что такое разбиение возможно только на основе выбора дополнительных точек контроля относительно выходных контрольных точек. Установлено, что при анализе схемы судовой электроэнергетической системы (СЭЭС) произвольной конфигурации первоочередной задачей является оценка состояний работоспособности и состояний отказа схемы относительно узла. Предложен формальный способ выделения в сложной многоэлементной схеме СЭЭС одно- и двухэлементных сечений как эффективный прием декомпозиции СЭЭС структурно-функциональной контролепригодности и оценки вероятности отказа системы относительно узла нагрузки и, следовательно, оценки математического ожидания коэффициента относительной потери мощности (КОПМ).

In the article there considered two approach of controllability synthesis in terms of the object components placement, also methodical and theoretical questions of synthesis issues solutions. Also in the article you can find aspects and components of system controllability.

There is suggested a solution of an object controllability synthesis by breaking into subclasses with a smaller dimensionality. There is shown that the breaking is possible only when it is based on additional control points relative to output control points.

There was established that at the free configuration ship electrical power system (SEPS) scheme analysis the main issue is an operability states estimation and a scheme failure (relative to a unit) states estimation. There was suggested formal approach of one or two-elements sections selection in a complicated poly-elements SEPS scheme as an effective technique of SEPS decomposition by a structural-and-functional controllability and the system failure possibility estimation relative to load unit and therefor an estimation of relative power loss factor (RPLF) expectation.

Ключевые слова: судовая электроэнергетическая система, электрооборудование, контролепригодность.

Key words: ship electrical power system, electrical equipment, controllability.



ОСТАНОВКА задачи синтеза контролепригодности (КП) [1] – [3] размещения компонентов объекта в конструктивных блоках по минимуму точек контроля может быть осуществлена при наличии двух подходов: при жестком закреплении компонентов объекта за конструктивными единицами и без такого жесткого закрепления. Методические и теоретические

вопросы решения задачи без жесткого закрепления компонентов объекта за конструктивными единицами рассматриваются исходя из предпосылки существования определенного числа m конструктивных единиц объекта контроля, которым соответствуют совокупности определенных вершин граф-модели $G(V, U)$, образующие его подграфы, а рассматриваемую задачу можно сформулировать как задачу разбиения граф-модели $G(V, U)$ на подграфы [2] $G_1(V_1, U_1), \dots, G_i(V_i, U_i), \dots, G_m(V_m, U_m)$.

Задача поиска такого разбиения графа $Q(V, U)$ на подграфы состоит в удовлетворении ограничений по объему и минимизации точек контроля для поиска дефектов с точностью до выделенной конструктивной единицы. Для простоты рассуждений будем полагать, что ограничения по «весу» для всех конструктивных единиц одинаковы, а в объекте контроля возможны только одиночные дефекты, что в большинстве случаев подтверждается практикой эксплуатации судового электрооборудования [4]. Если принять в качестве первоначального множества контрольных точек « U » только выходные вершины графа $Q(V, U)$ и при этом допущении построить матрицу проверок, то с ее помощью известными методами можно выделить классы эквивалентности одиночных дефектов, анализируя которые можно обнаружить, что часть из них могут рассматриваться как конструктивные элементы объекта контроля, а оставшиеся классы второго типа необходимо разбить на подклассы меньшей размерности. Это разбиение возможно только на основе выбора дополнительных точек контроля относительно выходных контрольных точек. Дополнительные точки контроля необходимо выбрать так, чтобы они, с одной стороны, разбивали наибольшее число классов второго типа, а с другой стороны, чтобы новые подграфы удовлетворяли ограничению на «вес» подграфа. Для решения такой задачи наиболее удобно каждый класс второго типа разбить на двухэлементные множества построением всех возможных сочетаний по два из элементов каждого класса [5]. Затем для каждого полученного двухэлементного множества определяются нарушающие множества.

Процедура разбивает все классы второго типа на классы меньшей размерности, анализ которых по ограничению на «вес» вновь выявляет допустимые по «весу» подграфы. Если снова обнаруживаются среди очередного множества разбиений недопустимые по «весу» подграфы, то процедура дальнейшей декомпозиции продолжается для оставшегося неудовлетворительного по «весу» множества подграфов до тех пор, пока не будут получены все допустимые разбиения. Если при этом останутся вершины, которые не вошли ни в один подграф, то их можно включить либо в подграфы, у которых есть допустимый «запас веса», либо сформировать из них в произвольном порядке один или несколько (с учетом ограничения) произвольных подграфов, завершающих процесс разбиения исходных подграфов.

Следует иметь в виду, что на очередном шаге разбиения подграфов может оказаться, что ни один из вновь полученных подграфов не удовлетворяет «весовому» ограничению. Тогда в процедуру разбиений на подграфы включается следующее правило: *среди всех покрытий очередного шага выбирается такое, при котором обнаруживается наименьшее число неудовлетворительных разбиений*. Повторение процедуры при новом правиле, как показал опыт [6], обеспечивает однозначное завершение декомпозиции матрицы R .

Рассмотренные положения синтеза КП определяют конструктивно-технологический аспект рационального поиска совокупности конструктивных единиц при жестком или произвольном размещении в них отдельных компонентов объекта контроля при минимальном множестве точек контроля, обеспечивающих различимость дефекта с точностью до образованных конструктивных блоков. Однако при проектировании контролепригодных объектов часто возникает ситуация, когда особенности назначения или особенности конструктивного характера вынуждают в качестве исходного рассматривать только внешние выходы как заданное число точек контроля « U ». Тогда возникает задача размещения компонентов объекта в выбранных конструктивных единицах таким образом, чтобы имеющееся число контрольных точек « U » могло обеспечить различимость дефектов при их произвольной кратности [7].

Если по множеству контрольных точек « U » построить матрицу проверок B , в которой обнаруживаются множества совпадающих между собой столбцов, характеризующих классы эквива-

лентности одиночных дефектов, и оставить из каждого класса по одному представителю, а столбцы, соответствующие остальным элементам каждого класса, вычеркнуть, то получим усеченную по числу столбцов относительно ***B*** матрицу проверок ***B***. Если выделить из всех строк матрицы ***B*** строку с минимальным числом ненулевых элементов и анализируя ее, затем исключить из матрицы ***B*** столбцы, содержащие в выделенной строке ненулевые элементы, то можно сформировать множество ***I*** номеров вычеркнутых столбцов. Если обнаруживается при реализации этой процедуры усечения матрицы ***B*** несколько одинаковых строк, то в качестве первой может быть взята любая из них. В оставшейся усеченной матрице вновь отыскивается строка с минимальным числом ненулевых элементов, и процедура выделения нового множества столбцов по выделенной строке повторяется. Процесс продолжается до тех пор, пока не будут исключены все столбцы матрицы ***B***, и получены множества ***I***. Суть процесса декомпозиции на отдельные подматрицы состоит в поиске однозначных функциональных связей различной длины по составу компонентов объекта контроля [8]. Если из элементов классов полученных подклассов образовать подграфы, то процедуру образования соответствующих им конструктивных единиц можно полагать завершённой.

Использование полученной структуры объекта контроля при исходном заданном множестве точек контроля для поиска дефектов с точностью выделенных конструктивных блоков основывается на следующих предпосылках. Проведение декомпозиции по матрице проверок ***B*** с контролем работоспособности и формированием дополнительного к ***B*** столбца, содержащего «0» и «1» в зависимости от результатов проверок, с последующим отысканием строк, соответствующих положительным результатам проверки (отсутствию дефектов), т.е. содержащих в дополнительном столбце единицу, и вычеркиванием их из матрицы ***B***, а затем вычеркиванием столбцов, содержащих в вычеркнутой строке единицу, т.е. удалением из матрицы элементов, не входящих в множество компонентов объектов контроля, имеющих отношение к возникновению дефекта, позволяет во вновь полученной матрице ***B*** оставить только те элементы, которые так или иначе связаны с существованием дефекта. Поскольку задача состоит в отыскании дефекта в пределах одного конструктивного элемента, в матрице ***B*** необходимо отыскать такую строку, ненулевые элементы которой принадлежат только одному конструктивному блоку. Следовательно, эта конструктивная единица и содержит искомый дефект. После замены неисправного блока и проведения новой проверки вновь получается дополнительный столбец с результатами проверки. Повторный анализ матрицы проверок по данным вновь полученного дополнительного столбца позволит обнаружить очередной дефектный конструктивный блок. Процедура продолжается до тех пор, пока все дефектные конструктивные блоки не будут полностью обнаружены. Поиск завершается единичным вектором-столбцом результатов очередной проверки.

Синтез контролепригодности электрооборудования, электросхем систем управления, защиты и сигнализации СЭЭС при размещении компонентов объекта в конструктивных единицах по минимуму стоимости поиска дефектов рассматривается также как задача декомпозиции графамодели объекта контроля и его подграфов, при которой, с одной стороны, удовлетворяются «весовые» (по объему) ограничения, а с другой – обеспечивается поиск одиночных и кратных дефектов при совокупности проверок минимальной стоимости.

Процедура декомпозиции матрицы ***B*** остается такой же, как и ранее рассмотренная [2], когда по матрице ***B*** определяются все классы эквивалентности одиночных дефектов с разбиением их на два класса, первый из которых удовлетворяет ограничениям на «вес» конструктивных единиц, а второй не удовлетворяет. Очевидно, что выбор дополнительных точек контроля связан с анализом второго класса эквивалентности одиночных дефектов. Для этого каждый из классов второго типа разбивается на двухэлементные множества путем построения всех возможных сочетаний по два из элементов каждого класса. Затем уже для каждого из вновь образованных двухэлементных множеств определяются нарушающие множества. При этом нахождение минимального покрытия системы множеств сводится к минимальному покрытию матрицы из «0» и «1». Если раньше в качестве оценки эффективности покрытия использовалось количество столбцов матрицы ***R***, вошедших в покрытие, то при новой постановке задачи целесообразно отыскивать те покрытия, которые приводят к минимальной

стоимости матрицы R . Однако при таком критерии оценки эффективности покрытия матриц второго класса могут возникать ситуации, когда на очередном шаге процедуры обнаруживается хотя бы один класс, не удовлетворяющий ограничению по весу и поэтому требующий дальнейшего разбиения, а также в процессе декомпозиции графа-модели на классы и подграфы возникает вариантность из-за наличия одинаковых столбцов или строк в матрице проверок B . В этой связи выбор очередного варианта из совокупности одинаковых по «весу» нужно выбирать по минимуму стоимости порожденных ими проверок [9]. При разбиении с учетом поиска кратных дефектов выбор точек контроля осуществляется таким образом, чтобы порождаемые ими проверки имели минимальную стоимость.

Процедуры и алгоритмы разбиения множества компонентов объекта контроля на конструктивные единицы на определенных стадиях их реализации, связанных с выбором дополнительных точек контроля, могут быть увязаны с поиском минимума стоимости не только в связи с реализацией порождаемых ими проверок, но и с внедрением дополнительных точек контроля.

Поскольку уровень КП системы в целом определяется эффективностью проверки правильности функционирования, оценки работоспособности и поиска обнаруженных при контроле дефектов, при оценке эффективности функционирования следует различать два аспекта: вещественно-энергетический и структурно-функциональный. Первый аспект обусловлен балансом генерируемой и потребляемой электроэнергии, второй – неизменностью структуры и ее реакций на внешние дестабилизирующие воздействия. Для современных централизованных, концентрированных, с высоким уровнем автоматизации управления процессами генерирования и распределения электроэнергии СЭЭС второй аспект является определяющим.

Совершенствование систем автоматического контроля и управления СЭЭС имеет непосредственное отношение к оценке состояний работоспособности и состояний отказа узлов генерирования и потребления электроэнергии при известных состояниях путей передачи электроэнергии. Очевидно, если путь между узлом генерирования и узлом нагрузки включает в себя двухэлементные сечения, то можно полагать, что уровень надежности функционирования, а значит и уровень системной КП СЭЭС будет выше, чем при наличии в пути одноэлементных сечений.

Полагая, что одной из основных причин снижения эффективности функционирования СЭЭС является недостаточный уровень ее КП, не обеспечивший прогноз структурных и режимных нарушений, связанных с ее статической и динамической устойчивостью, можно принять, что в качестве наиболее целесообразного показателя, отражающего влияние КП, следует рассматривать отношение фактически генерируемой и передаваемой электроэнергии к потенциально-достижимой в качестве коэффициента относительной потери мощности (КОПМ).

Количественная оценка КОПМ при стохастически меняющейся структуре СЭЭС может быть достигнута при вероятностном подходе к анализу не только состояний структуры системы, но и характеристик функционирования СЭЭС с помощью интегральных вероятностных характеристик различных режимов ее функционирования.

В общем случае можно выделить два аспекта исследования системной КП:

- аспект КП, обусловленный анализом структуры СЭЭС, взаимосвязей элементов и их пропускных возможностей;
- аспект КП, определяемый анализом ограничений режимов функционирования при известных структурах системы.

С учетом этого можно выделить следующие составляющие системной КП СЭЭС (с достаточной степенью условности):

- структурно-функциональную КП СЭЭС;
- режимно-функциональную КП СЭЭС.

Оценка уровня структурно-функциональной КП наиболее актуальна и имеет большие логические основания для проектных постановок задач. В частности, при эксплуатации СЭЭС с режимной избыточностью доминирующее значение приобретает оценка режимно-функциональной КП СЭЭС. Установлено, что при анализе схемы СЭЭС произвольной конфигурации первоочередной задачей является оценка состояний работоспособности и состояний отказа схемы относительно узла.

Формальный способ выделения в сложной многоэлементной схеме СЭЭС одно- и двухэлементных сечений можно рассматривать как эффективный прием декомпозиции СЭЭС по структурно-функциональной контролепригодности и оценки вероятности отказа системы относительно узла нагрузки и, следовательно, оценки математического ожидания КОПМ. Для характеристики режимно-функциональной КП СЭЭС помимо рассмотренного ранее показателя, целесообразно ввести в качестве дополнительного показателя условную вероятность того, что в системе не произойдет каскадного развития аварии при условии возникновения первичного возмущения.

Методические аспекты исследования режимно-функциональной КП СЭЭС основаны на необходимости оценки КОПМ как суммы дефицита электропотребления по всем состояниям системы, вероятностная схема которой задается как детерминированно (при небольшой размерности), так и стохастически (при большой размерности). В последнем случае обобщенные параметры и режимы электропотребления задаются системой случайных величин. Установлено, что в основе применения вероятностных моделей СЭЭС, практически доступных для анализа режимно-функциональной КП, лежит оценка законов распределения параметров режимов СЭЭС, однако их определение по законам распределения нагрузки для сложных СЭЭС на современном этапе представляет практически неразрешимую задачу. Наиболее целесообразно использовать интегральные вероятностные характеристики режимов и по ним определять параметры законов распределения, вид которых устанавливается по результатам анализа физического существа задачи [10]. Такая оценка интегральных вероятностных характеристик для проведения эффективных практических расчетов с использованием систем случайных величин при моделировании режимов СЭЭС представляет собой сложную научно-техническую задачу и требует отдельного рассмотрения и анализа.

Список литературы

1. *Каракаев А. Б.* Сущность понятия коммутационной контролепригодности сетей электрооборудования судов / А. Б. Каракаев, А. В. Луканин // Эксплуатация морского транспорта. – 2012. – № 1 (67). – С. 58–60.
2. *Каракаев А. Б.* Основные методические вопросы анализа и синтеза контролепригодности систем сложной конструктивно-технической и организационной структуры на примере СЭЭС и ее элементов / А. Б. Каракаев, А. В. Луканин // Эксплуатация морского транспорта. – 2013. – № 2 (72). – С. 63–67.
3. *Каракаев А. Б.* Теоретические основы анализа контролепригодности судовой электроэнергетической системы и ее элементов / А. Б. Каракаев, А. В. Луканин // Вестник Государственного университета морского и речного флота. – 2013. – № 3 (22). – С. 54–58.
4. *Айзерман М. А.* Выбор вариантов: основы теории / М. А. Айзерман, Ф. Т. Алескеров. – М.: Наука, 1990. – 240 с.
5. *Барлоу Р.* Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. / Р. Барлоу, Ф. Прошан; пер. с англ. – М.: Наука, 1984.
6. *Афонасьев В. Г.* Комплекс программ для анализа надежности сложных систем / В. Г. Афонасьев, О. В. Талов, Н. С. Филатов // Моделирование и контроль качества в задачах обеспечения надежности. РЭУ: сб. тр. межд. НТС-Шауляй, 1992. – С. 24–26.
7. *Герубах И. Б.* Модели отказов: монография / И. Б. Герубах, Х. Б. Кордонский. – М.: Сов. Радио, 1966. – 165 с.
8. *Михалевич В. С.* Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / В. С. Михалевич, В. Л. Волкович. – М.: Наука, 1982.
9. *Абрамов Д. В.* Обеспечение надежности технических объектов / Д. В. Абрамов // Надежность и контроль качества. – 1987. – № 4. – С 4–8.
10. *Ковалев А. П.* Формирование требований к надежности и системам эксплуатации распределенных технических комплексов: монография / А. П. Ковалев. – СПб.: Оракул, 1999. – 104 с.

УДК 62-503.55

Н. И. Николаев,
д-р техн. наук, профессор,
ГМУ имени адмирала Ф.Ф. Ушакова;

В. В. Герасиди,
канд. техн. наук, преподаватель,
ГМУ имени адмирала Ф. Ф. Ушакова;

А. В. Лисаченко,
аспирант,
ГМУ имени адмирала Ф. Ф. Ушакова

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО НАГРУЗКАМ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКООБОРОТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ CAT 3500 СЕРИИ МОРСКИХ БУКСИРОВ

MODERN HIGH-SPEED ENGINES CAT 3500 SERIES OF MARINE TUGS ANALYSIS OF LOADS EXPERIMENTAL DATA

Выполнен анализ главных двигателей марки «Caterpillar» модели CAT 3500В морских буксиров посредством переносного диагностического устройства. Получены зависимости нагрузки от частоты вращения коленчатого вала двигателя при швартовном и ходовом режимах эксплуатации. Показано, что разница нагрузки для двигателей на швартовных режимах по отношению к нагрузкам на ходовых режимах эксплуатации составляет примерно 10 %. Подтверждено, что удельный расход топлива при значении менее 10 % $Ne_{ном}$ завышен по сравнению со значениями, полученными при стендовых испытаниях аналогичных двигателей CAT 3500В. Доказано, что эксплуатация двигателя при частоте вращения менее 900 мин⁻¹ приводит к повышенному расходу топлива. Показано, что благоприятные режимы работы двигателей при швартовных и ходовых режимах работы лежат в пределах 10–40 % $Ne_{ном}$. Сделаны выводы по анализу работы высокооборотных двигателей морских буксиров в течение всего периода эксплуатации.

The tug's main engine analysis of loading is made by portable diagnostic device. Dependence between load and RPM are received during mooring and running modes operation. The ten percent is shown different between mooring mode and running mode. Specific fuel consumption of till 10 % $Ne_{ном}$ is above the reference engine. It is proved that 900 min⁻¹ or less of the engine operation leads to increased fuel consumption. Specific fuel consumption is satisfactory between 10–40 % $Ne_{ном}$ during mooring and running modes of operation. Conclusions are made to tugs high-speed engines operating analysis at the all of life time.

Ключевые слова: двигатель, диагностика, морской буксир, нагрузка, частота вращения коленчатого вала.

Key words: engine, engine diagnostics, tug, load, crankshaft, revolution per minutes.

В ПОРТАХ Российской Федерации в связи с ростом с начала 2000 г. внешнеторгового оборота эксплуатируются новые морские буксиры дедвейтом от 20 т до 800 т [1]. На таких буксирах находят широкое применение высокооборотные дизели (ВОД) фирм «Caterpillar», «Cummins», «MTU» и др. мощностью от 200 кВт до 2500 кВт. По данным проведенного анализа построенных судов в РФ под наблюдением РМРС за период 2000–2012 гг. 53,1 % судов используют ВОД фирмы «Caterpillar».

В настоящее время для морских буксиров характерными (основными) режимами эксплуатации главных двигателей являются режимы пониженных нагрузок. В качестве главных двигателей на таких судах применяются два ВОД с наддувом номинальной мощностью от 1000 до 2100 кВт [1], расположенных по правому и левому борту. Эксплуатация двигателей на режимах пониженных нагрузок менее 50 % от номинальной мощности $Ne_{ном}$ приводит к снижению технико-

экономических показателей дизеля и надежности судна в целом [2]. В связи с этим проведение натурных испытаний на судах для определения характерных режимов работы двигателей и расхода топлива является актуальной задачей.

Объектом экспериментального исследования являются современные судовые ВОД производства фирмы «Caterpillar» модели CAT 3500B номинальной мощностью до 1230 кВт и номинальной частотой вращения до 1850 мин⁻¹. На рис. 2 а представлены статистические данные по нагрузке главных ВОД морских буксиров, полученные на основании постоянного мониторинга в течение 10 лет эксплуатации при помощи универсальной мобильной системы. Как правило, эта система четко определена, т.е. заданы все контролируемые параметры и границы их допустимых изменений. Имеющаяся информация о рабочих процессах используется в выводе параметров на дисплей оператора и в системах диагностики оборудования дизельных двигателей фирмы и называется «Caterpillar Electronic Technician» (сокращенно – «CAT ET») – рис. 1.

Дизельный двигатель CAT 3500B оснащен электронным блоком эффективного управления (БЭУ), который контролирует рабочие параметры двигателя. БЭУ способен принимать решения в случае, когда определенные параметры достигают допустимых пределов. Эти решения выражены в трех ответных действиях: «ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ», «СНИЖЕНИЕ НАГРУЗКИ», «ОСТАНОВ». То или иное действие программируется в БЭУ посредством диагностической программы CAT ET, имеющей следующие возможности:

- ввод согласованных параметров;
- программирование степени контроля параметров (уставка, контроль предельно допустимых параметров);
- программирование времени срабатывания сигнала.

Система слежения БЭУ активируется после запуска двигателя, когда частота вращения коленчатого вала достигнет на 50 мин⁻¹ ниже значения оборотов холостого хода.



Рис. 1. Общий вид диагностического оборудования CAT ET

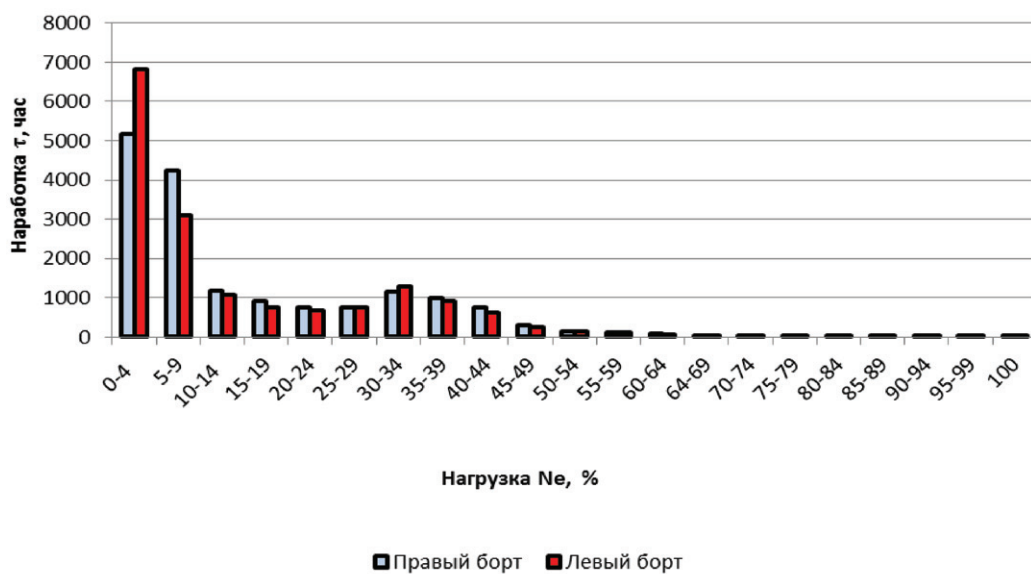
Оператор (вахтенный механик) наблюдает за двигателем во время его работы, считывая показания приборов, выведенных на приборную панель. При возникновении кодов неисправности двигатель реагирует согласно заложенной в него программе. В это время оператор должен найти разъяснение соответствующего кода и принять надлежащие меры, что приводит к определенным временным трудностям. Средства диагностики CAT ET представлены в виде одной компьютерной программы и адаптера, являющегося связующим элементом двигателя (БЭУ) и компьютера. На монитор переносного компьютера (ноутбук) выводятся данные о двигателе в режиме реального времени. В таблице приведено сравнение контролируемых параметров при помощи переносной системы диагностики (CAT ET) и приборной панели двигателя.

**Сравнение основных контролируемых параметров
при помощи диагностического комплекса CAT ET и приборной панели двигателя**

Основные контролируемые параметры	Диагностический комплекс CAT ET	Приборная панель двигателя CAT 3500B
1. Температура охлаждающей жидкости воздухоохладителя, °C	+	+
2. Сопротивление в воздушном фильтре, кПа	+	
3. Атмосферное давление, кПа	+	
4. Давление наддувочного воздуха, кПа	+	+
5. Состояние холодного режима двигателя	+	
6. Температура охлаждающей жидкости, °C	+	+
7. Давление картерных газов, кПа	+	+
8. Отключение цилиндра	+	
9. Диагностические сообщения	+	+
10. Напряжение питания БЭУ	+	
11. Идентификация двигателя (серийный номер)	+	
12. Частота вращения двигателя (фактические мин ⁻¹)	+	+
13. Частота вращения двигателя (требуемые мин ⁻¹)	+	
14. Нагрузка на двигатель, %	+	
15. Состояние систем двигателя	+	
16. Состояние сигнально-предупредительных систем двигателя	+	
17. Температура выхлопных газов, °C	+	+
18. Давление топлива, кПа	+	+
19. Перепад давления топлива на фильтре, кПа	+	+
20. Уровень антифриза в системе	+	
21. Максимальное сопротивление в воздушном фильтре, кПа	+	
22. Давление масла в системе, кПа	+	+
23. Положение топливной рейки в процентах	+	
24. Номинальный предел подачи топлива	+	
25. Состояние функции «калибровки датчиков»	+	
26. Общее потребление топлива, л/ч	+	+

На рис. 2 а приведена гистограмма нагрузок ГД CAT 3500 в течение всего периода эксплуатации, откуда видно, что нагрузка на двигатели 0–15 % $Ne_{ном}$ приходится на большую часть (до 80 %) эксплуатационного времени морского буксира, при режиме средних нагрузок (30–50 % $Ne_{ном}$) двигатели отработали 7 % от общего эксплуатационного периода.

а)



б)

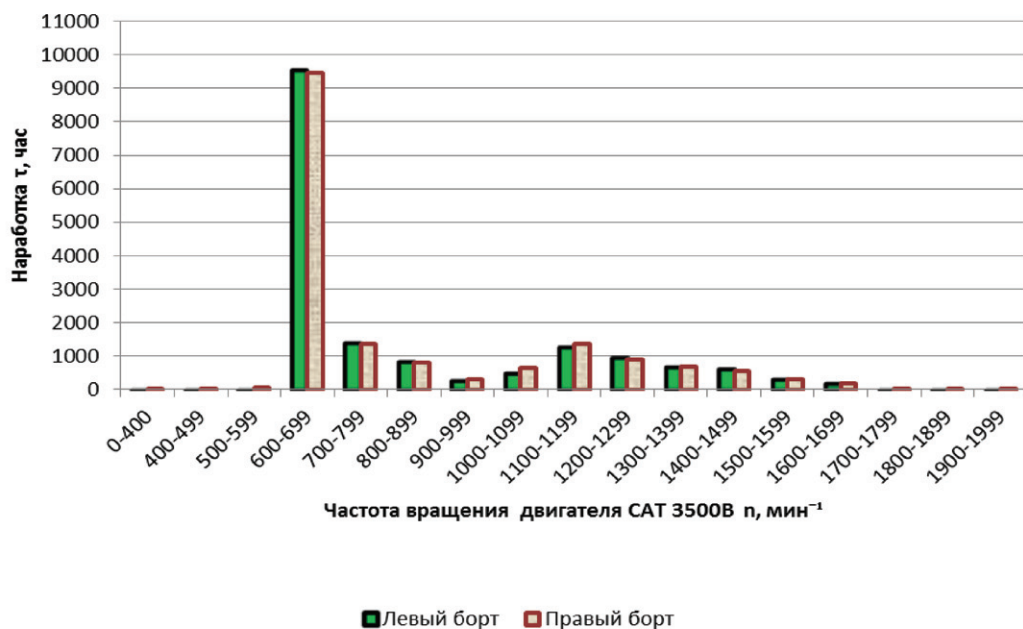


Рис. 2. Гистограммы нагрузок (а) и частоты вращения (б) главных двигателей CAT 3500B морского буксира в течение всего периода эксплуатации

На основании имеющегося статистического материала по нагрузкам и частоте вращения двигателя можно определить характерные режимы работы по приведенной на рис. 2 б гистограмме, откуда видно, что наибольшее количество времени (примерно 9500 ч) двигатель работает при частоте вращения коленчатого вала $n = 600\text{--}699$ мин⁻¹. При частоте вращения 1500 мин⁻¹ двигатель отработал примерно 1000 ч эксплуатационного времени при нагрузке, в соответствии с рис. 3, равной 40 % $N_{e\text{ном}}$, что также подтверждается временем работы двигателя (примерно 1000 ч) при режиме 40 % $N_{e\text{ном}}$ в соответствии с рис. 2 а.

Испытания двигателей фирмы «Caterpillar» серии CAT 3500B дизельной энергетической установки морских буксиров выполнены в соответствии с разработанной и согласованной с судовладельцем программой испытаний, основанной на рекомендациях завода-изготовителя двигателей CAT 3500B.

Условия проведения ходовых и швартовных испытаний:

- температура охлаждающей жидкости зарубашечного пространства составляет не менее 60 °С;
- волнение моря – не более 3–4 балла;
- скорость ветра – не более 5 м/с;
- диапазон частоты вращения коленчатого вала двигателя – от 1500 мин⁻¹ до 700 мин⁻¹ с шагом 100 мин⁻¹ при уменьшении и увеличении нагрузки. Подключение и установка диагностического адаптера осуществляется согласно штатному расположению соединительных разъемов [3].

При анализе проведенных операций (швартовный или ходовой режим) были определены основные показатели нагрузок на главные двигатели в зависимости от частоты вращения. На рис. 3 приведены такие зависимости нагрузок, откуда видно, что на протяжении всего диапазона частоты вращения двигателя от 1500 мин⁻¹ до 700 мин⁻¹ разница между нагрузкой при швартовном и ходовом режимах работы составляет 10 %. Анализ работы показал, что от общего времени швартовной операции не более 1 % приходится на работу двигателя на максимальной нагрузке (50 % $Ne_{ном}$), остальное время соответствует малым нагрузкам (от 5 % до 25 % $Ne_{ном}$). Из рис. 3 видно, что характер изменения нагрузки от частоты вращения ГД в диапазоне от 1500 до 700 мин⁻¹ на швартовном режиме работы лежит в пределах от 50 % до 7 % $Ne_{ном}$, на ходовом режиме – от 40 % до 3 % $Ne_{ном}$.

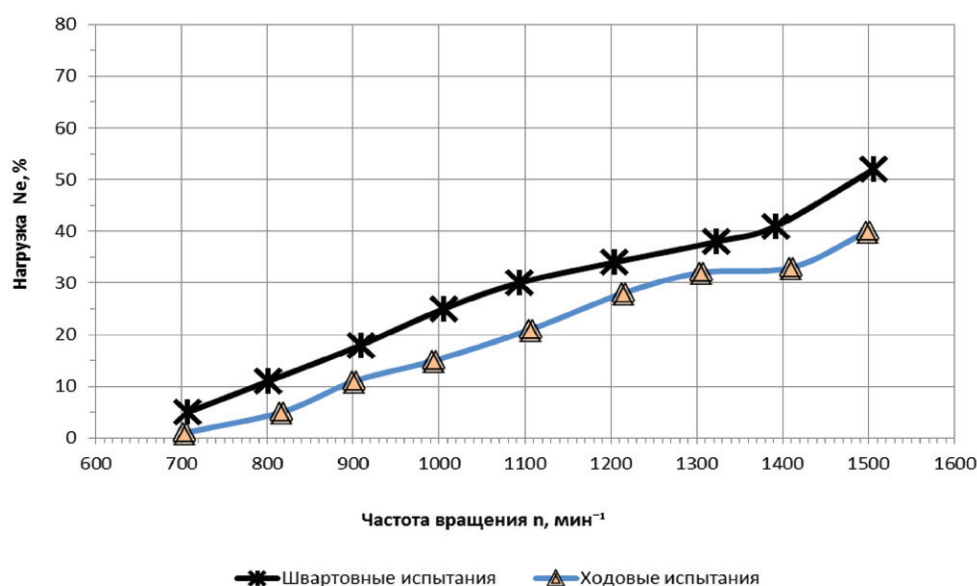
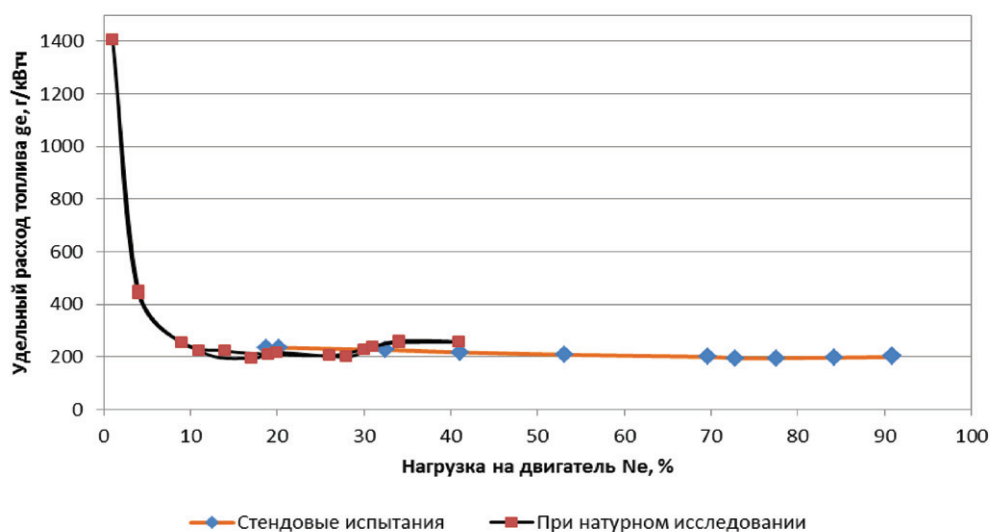


Рис. 3. Зависимость нагрузки от частоты вращения главного двигателя САТ 3500В

Таким образом, проведение теплотехнических испытаний двигателей САТ 3500В морских буксиров позволило получить характеристики, определяющие экономические показатели работы двигателей на режимах частичных нагрузок.

Влияние режима низких нагрузок на работу двигателя можно оценить при помощи зависимостей, полученных на рис. 4, где показано натурное определение удельного эффективного расхода топлива на ходовых режимах работы двигателя путем сравнения с эталонным значением (стендовые испытания). Из рис. 4 а видно, что удельный расход топлива при нагрузке от 10 % до 40 % $Ne_{ном}$ практически совпадает с данными, полученными при стендовых испытаниях двигателя САТ 3500В, что свидетельствует о необходимости эксплуатации двигателей на этих режимах. При сравнении удельного расхода топлива, полученного при ходовых испытаниях, со стендовыми испытаниями видно, что эксплуатация двигателя при частоте вращения менее 900 мин⁻¹ приводит к повышенному расходу топлива.

а)



б)

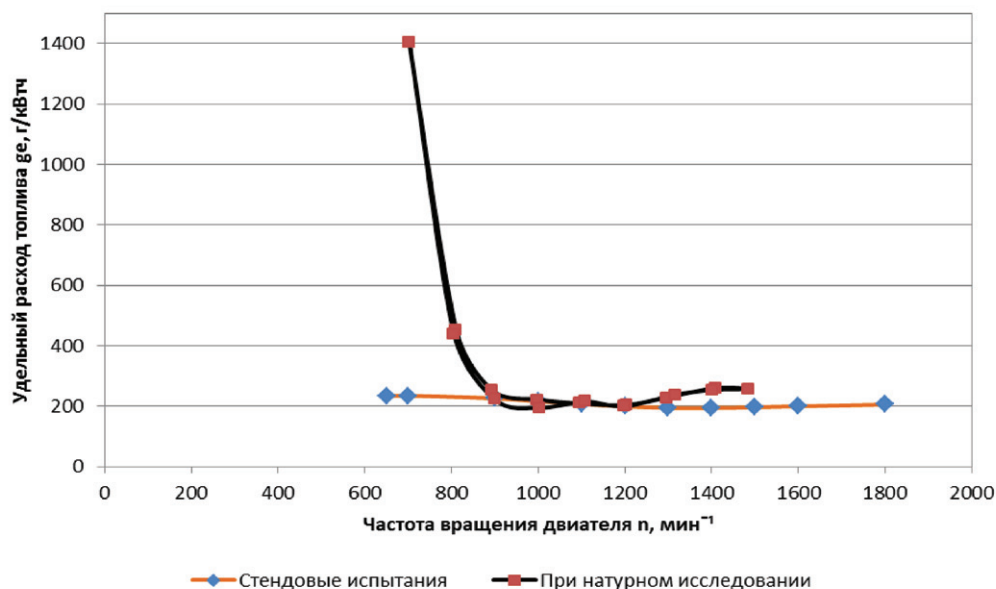


Рис. 4. Зависимость удельного расхода топлива от нагрузки (а) и частоты вращения (б) двигателя CAT 3500B

Ввиду того, что показатель нагрузки в условиях эксплуатации обслуживающий персонал определить не может, на рисунке 4 б удельный расход топлива приведен в зависимости от частоты вращения двигателя, откуда видно, что режим 900–1500 мин⁻¹ соответствует эффективному расходу топлива, полученному при стендовых испытаниях типоразмера двигателя CAT 3500B.

Оценка технического состояния при помощи штатных контрольно-измерительных приборов и переносной системы диагностики (CAT ET) – достаточно трудоемкий процесс для ВОД, работающих в порту. Отдельные измерения параметров и их сопоставление с данными, полученными при стендовых испытаниях, не дают полного представления о техническом состоянии двигателя и его систем. Большую часть эксплуатационного времени нагрузка на двигатель составляет до 10 % $N_{e, ном}$, при которой удельный расход топлива завышен, что может привести к нестабильной

работе отдельных систем и узлов двигателя (топливной аппаратуры) к повреждению компенсаторов газовыпускного тракта, а также повреждению рабочих лопаток ТК) на таких режимах эксплуатации.

Выполненный анализ испытаний ВОД САТ 3500В позволил сделать выводы и дать рекомендации судовладельцу по существующим режимам работы.

Значительную часть эксплуатационного периода морских буксиров главные высокооборотные двигатели работают в диапазоне нагрузок до 50 % от номинальной мощности двигателя, причем для работы на нагрузках до 10–15 % $Ne_{ном}$ (при частоте вращения коленчатого вала двигателя, равной 650–700 мин⁻¹) приходится 80 % эксплуатационного времени.

Нагрузка для двигателей на швартовных режимах больше примерно на 10 % по отношению к нагрузкам на ходовых режимах в эксплуатации во всем диапазоне частоты вращения двигателя.

При швартовном режиме работы морского буксира максимальная нагрузка на ГД составляет до 50 % $Ne_{ном}$. Продолжительность работы при такой нагрузке равна 1 % от общего времени швартовной операции.

При данных режимах работы для сокращения расхода топлива необходимо не допускать работу двигателей при нагрузках до 10–15 % $Ne_{ном}$, а увеличить до 20 % $Ne_{ном}$. Технически для исследуемых буксиров, использующих в составе пропульсивного комплекса винторулевые колонки, увеличить нагрузку реально при неизменной частоте вращения двигателя.

Частота вращения двигателя при ходовом режиме работы должна быть не менее 1000 мин⁻¹.

Необходимо использовать существующую систему контроля параметров работы главного двигателя САТ ЕТ, проводить ежемесячный мониторинг [3].

Список литературы

1. Правила классификации и постройки морских судов. – Т. 2. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2013. – 726 с.
2. Николаев Н. И. Современное состояние и техническая эксплуатация турбонаддувочных агрегатов: монография / Н. И. Николаев, В. А. Савченко. – СПб.: Судостроение, 2005. – 113 с.
3. Технические условия на ремонт двигателей САТ серии 3500В. <http://127.0.0.1/sisweb/media-search/mediaheadennfoframeset.jsp>, САТ 2013.

В. В. Романовский,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

А. И. Лебедев,
канд. техн. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

А. Г. Гостев,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГРЕБНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ И ЛЕДОКОЛОВ

ELECTRICITY QUALITY OF ROWING ELECTRICAL INSTALLATIONS OF ICE SHIPS AND ICEBREAKERS

В статье рассматриваются вопросы качества электрической энергии в судовых единых электро-энергетических системах (ЕЭЭС) с гребными электрическими установками (ГЭУ). В таких системах используются различные полупроводниковые преобразователи электрической энергии, мощность которых соизмерима с мощностью самой ЕЭЭС. При этом наблюдается заметное ухудшение качества электрической энергии, что, в свою очередь, оказывает негативное влияние на работу судовых потребителей. Приводится краткий анализ негативного влияния полупроводниковых преобразователей на качество электрической энергии и методы ее улучшения с помощью использования нового поколения полупроводниковых элементов в совокупности с преобразователем частоты со звеном постоянного тока.

In article questions of quality of electrical energy in ship combined electrical power systems (SCEES) with the electrical propulsion system (EPS) are considered. In such systems different semiconductor transformers of the electrical energy which power is commensurable with a power of SCEES are used. Noticeable deterioration of electrical energy is thus watched that in turn has a negative influence on work of ship customers. The short analysis of a negative influence of semiconductor transformers is provided in article on quality of electrical energy and methods of its improving by using a new generation of semiconductor elements in conjunction with the frequency converter with a direct current link.

Ключевые слова: ЕЭЭС, ГЭУ, качество, преобразователи, ледоколы.

Key words: ship combined electrical power systems (SCEES), electrical propulsion system (EPS), quality, transformers, Icebreakers.

ЕДИНЫЕ электроэнергетические системы (ЕЭЭС) судов ледового плавания и ледоколов имеют в своем составе гребные электрические установки (ГЭУ), которые являются потребителями соизмеримой с электростанцией мощности. Как правило, гребные электродвигатели (ГЭД) получают питание от мощных преобразователей частоты, управляемых или неуправляемых выпрямителей (рис. 1 и 2).

Выбор ГЭД зависит от типа преобразователя, расположения, количества и мощности двигателей, способа охлаждения и частоты вращения гребного винта. При мощностях свыше 1 МВт ГЭД синхронного типа превосходит по массогабаритным показателям ГЭД асинхронного типа. Кроме того, следует отметить и другие достоинства синхронных машин, такие как больший воздушный зазор и возможность работы с $\cos \varphi = 1$ [2]. В свою очередь, асинхронные машины имеют меньшую стоимость и высокую надежность, связанную с простотой их конструкции. На мощностях до 400–500 кВт асинхронные ГЭД имеют лучшие массогабаритные показатели по сравнению с синхронными. Перспективными являются двигатели с постоянными магнитами, используемые в двигателях Siemens Schottel Propulsor (SSP) и Azipod Compact компании ABB [5].

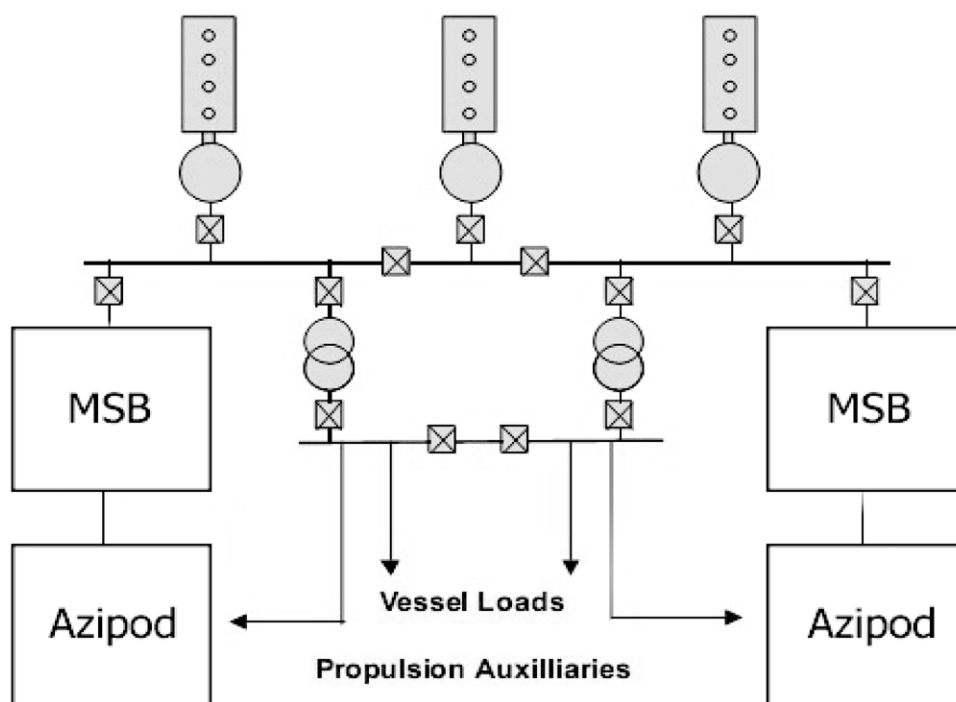


Рис. 1. ГЭУ пассажирского парома с системой AZIPOD Compact

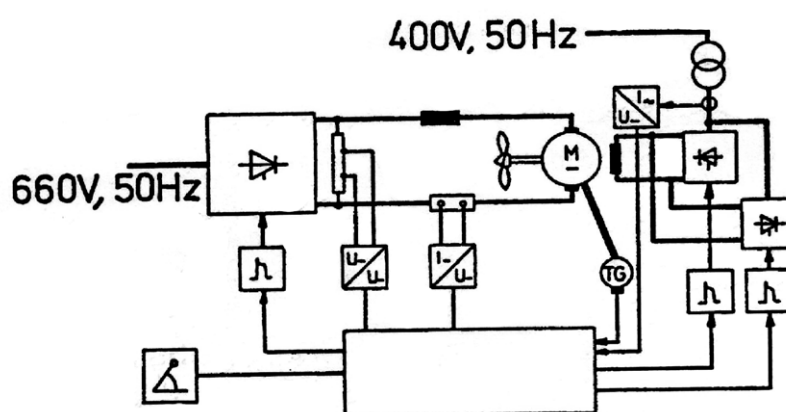


Рис. 2. ГЭУ ледокола типа «Капитан Измайлов»

Выбор преобразователя частоты до последнего времени ограничивался применением непосредственных преобразователей частоты и преобразователей частоты со звеном постоянного тока (ПЧПТ). Однако из-за недостатков непосредственных преобразователей частоты, к которым, в частности, относится их влияние на качество питаемой электроэнергии, приводящее к повышению коэффициента несинусоидальности напряжения судовой сети. ПЧПТ, в свою очередь, имели низкий КПД из-за двойного преобразования энергии.

Появление нового поколения полупроводниковых элементов, отличающихся высоким быстродействием и предельным значением коммутируемой мощности при очень малой мощности управления, позволяет эффективно использовать ПЧПТ. Повышение номинальных параметров запираемых тириستоров и силовых транзисторов позволяет охватить практически весь мощностной диапазон регулируемого привода. Таким образом, КПД мощных преобразователей (ПЧПТ) может достигать в номинальных режимах 95–99 %.

В ПЧПТ с появлением IGBT-транзисторов и запираемых (GTO) тиристоров появилась возможность использовать неуправляемые диоды для выпрямления переменного тока. Выпрямитель, работающий по трехфазной мостовой схеме, наиболее распространен в судовых ЕЭЭС. Нагрузка на часть периода подключается к двум различным фазам синхронного генератора. Таким образом, при работе синхронного генератора на выпрямительную нагрузку ток в фазах обмотки статора является несинусоидальным. Наблюдаются перерывы тока, связанные с закрытием отдельных вентилях. Первая гармоника фазного тока статора при этом отстает от напряжения генератора на угол, примерно равный 0,5–0,6 угла коммутации. Искажается и напряжение на зажимах синхронного генератора. Степень и характер этого искажения определяются коммутационными процессами в выпрямителе, имеющими интервал повторяемости, равный трем. Поэтому за период изменения ЭДС синхронного генератора в кривой его линейного напряжения появляется шесть характерных коммутационных искажений. Искажение напряжения и наличие в его составе высших гармонических составляющих тока отрицательно сказываются на работе судовых потребителей электроэнергии (рис. 3) [1].

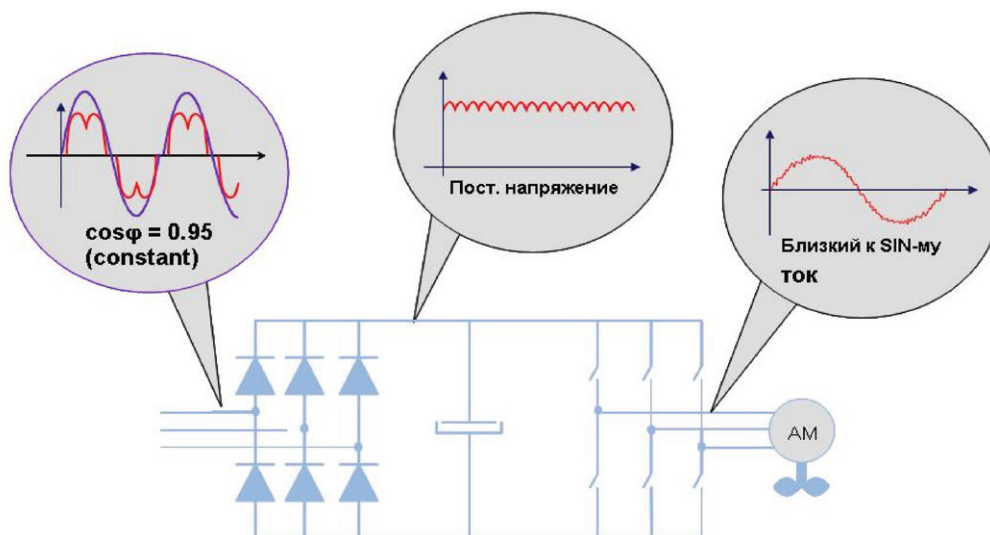


Рис. 3. Изменение ЭДС и напряжения в ПЧПТ

Наличие таких потребителей приводит к отрицательному воздействию на основную сеть переменного тока, заключающемуся в генерации высших гармонических составляющих тока и напряжения. Последние, в свою очередь, повышают вероятность возникновения резонансных явлений в судовых автоматизированных электроэнергетических системах (САЭЭС), нарушают работу программного обеспечения вычислительных и управляющих устройств, релейной защиты и автоматики, вызывают ускоренное старение изоляции основного электрооборудования, снижают надежность электроснабжения потребителей.

В настоящее время на судах ледового плавания и ледоколах с ЕЭЭС наиболее широкое применение получили схемы ПЧПТ (рис. 4). При этом для снижения коэффициента несинусоидальности и повышения качества электрической энергии используют 12-пульсные схемы (рис. 4 б), а в некоторых случаях возможно использование 18- и даже 24-пульсных схем [2]. Такой метод повышения качества электроэнергии требует увеличения полупроводниковых элементов, при этом также увеличиваются массогабаритные и стоимостные показатели преобразователя.

Появление мощных IGBT транзисторов позволяет создавать ПЧПТ с использованием полностью управляемых активных выпрямителей (AFE – Active front end), работающих по принципу широтно-импульсной модуляции (ШИМ) – рис. 4 в.

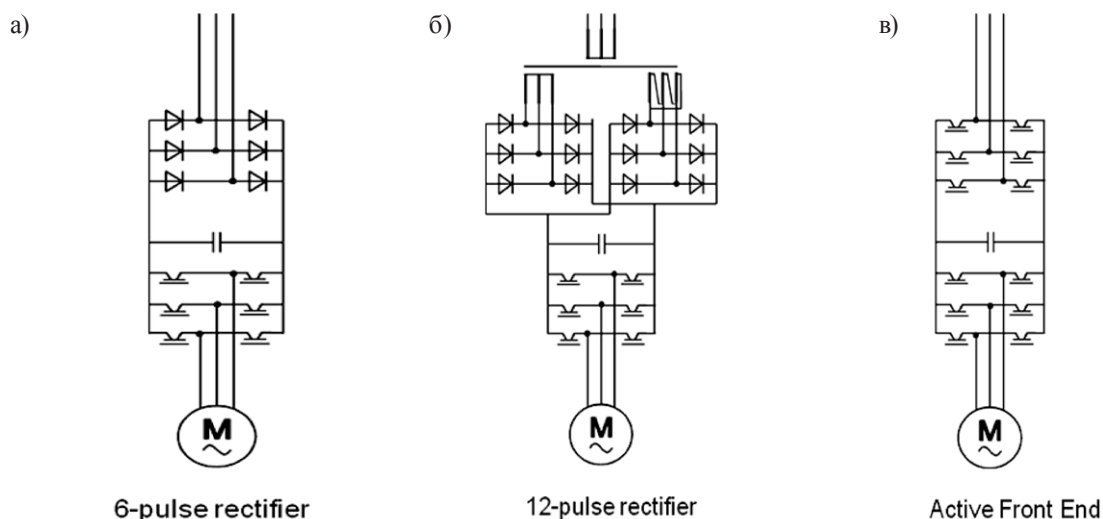


Рис. 4. Схемы ПЧПТ:
а – 6-пульсная; б – 12-пульсная; в – с активным выпрямителем (AFE)

Благодаря использованию ШИМ-технологии преобразования, влияние таких преобразователей на качество электрической энергии сведено к минимуму [4]. На рис. 5 приведен график влияния высших гармонических составляющих для систем с 6-, 12-пульсным и активным (AFE) выпрямителями в составе ПЧПТ. Помимо прочего использование ПЧПТ с AFE выпрямителем позволяет получить коэффициент мощности ЕЭЭС, близкий к единице. Такие преобразователи могут быть использованы в качестве компенсаторов реактивной мощности и даже активных фильтров [3].

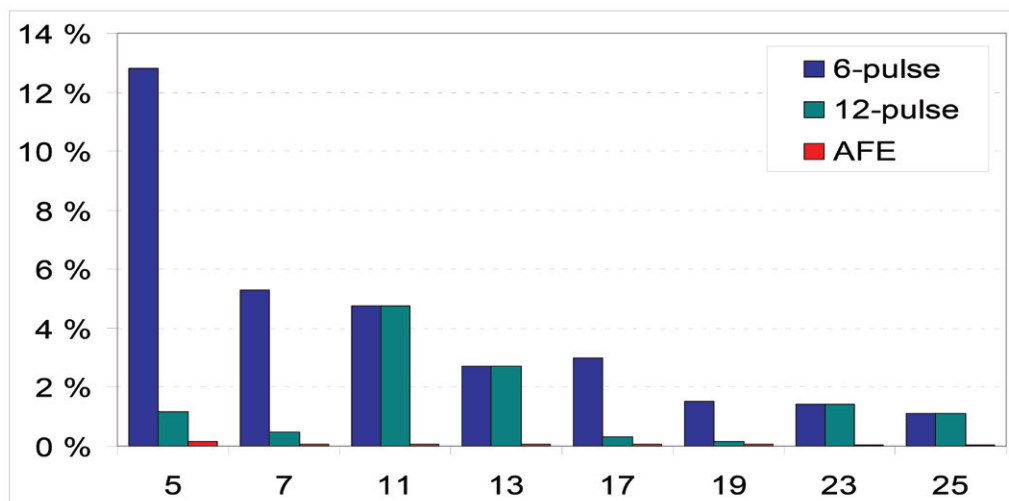


Рис. 5. График влияния высших гармонических составляющих для различных ПЧПТ

Традиционными средствами обеспечения качества электроэнергии в судовой сети являлись конденсаторные батареи с постоянной емкостью, снабженные электромеханическими коммутаторами и пассивные фильтры. Однако совершенствование вычислительной техники определило развитие управления качеством электроэнергии по двум основным направлениям. Первое из них связано с совершенствованием силовых исполнительных узлов и элементов системы управления, второе определяется поиском оптимальных структур и алгоритмов работы элементов и системы в целом. Таким образом, наличие средств вычислительной

техники в системе управления позволяет использовать сложные и эффективные алгоритмы численной обработки сигналов, значительно увеличив точность коррекции возмущений в электроэнергетической системе судна.

Список литературы

1. Агунов А. В. Управление качеством электроэнергии при несинусоидальных режимах: науч. изд. / А. В. Агунов. – СПб.: Изд. СПбГМТУ, 2009. – 133 с.
2. Романовский В. В. Перспективы модернизации гребных электрических установок ледоколов / В. В. Романовский, В. С. Иванов, А. И. Лебедев // Морской Вестник. – 2013. – № 2(11). – С. 56–59.
3. Пронин М. В. Активные фильтры высших гармоник направления развития / М. В. Пронин // Новости электротехники. – 2006. – № 2 (38).
4. Современные преобразователи частоты: методы управления и аппаратная реализация [Электронный ресурс] // Силовая электроника. – 2004. – № 1. – Режим доступа: http://www.power-e.ru/pdf/2004_01_50.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
5. Движительная установка Azipod VI безопасная, эффективная и экологически чистая навигация в ледовых условиях [Электронный ресурс] // Сайт компании ABB. – Режим доступа: [http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/56184f24de9dfa99c1257a0f002dc565/\\$file/ABB_Finland_Icebreaker_brochure_2012_ru_web.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/56184f24de9dfa99c1257a0f002dc565/$file/ABB_Finland_Icebreaker_brochure_2012_ru_web.pdf), свободный. – Загл. с экрана.

УДК 621.311:629.12

С. Ю. Труднев,
ст. преподаватель,
ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ШИМ-ИНВЕРТОРА И ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ

RESEARCH OF PARALLEL WORK OF PWM INVERTER AND SINGLE-PHASE NETWORK

В статье рассмотрена структура работы устройства, позволяющего улучшить качество электрической энергии. Разработана математическая модель однофазной сети и однофазного источника питания, работающего через инвертор. На основании математической модели разработана и исследована имитационная модель предлагаемого устройства в программе MATLAB. Рассмотрена параллельная работа инвертора и однофазной сети с нулевым фазовым сдвигом, исследованы характеристики зависимости напряжения от времени работы. Исследована параллельная работа преобразователя и однофазной сети с фазовым сдвигом, равным 60 градусов. Выявлен положительный эффект и определены недостатки при внедрении данного устройства.

In article are considered structure of operation of the device allowing to improve quality of electric energy. The mathematical model of a single-phase network and the single-phase power supply working via the inverter is developed. On the basis of mathematical model the imitating model of the offered device in the MATLAB program is developed and investigated. Parallel operation of the inverter and a single-phase network with zero phase shift is

considered, characteristics of dependence of tension on operating time are investigated. Parallel operation of the converter and a single-phase network with phase shift in 60 degrees is investigated. The positive effect is revealed and shortcomings at introduction of this device are defined.

*Ключевые слова: параллельная работа, однофазная сеть, модель, динамический режим, напряжение.
Key words: parallel work, single-phase network, model, dynamic mode, tension.*

В УСЛОВИЯХ развития современного рыбопромыслового флота в судовые электроэнергетические системы (СЭС) начинают внедрять современные электронные источники энергии (ионисторы, ультраконденсаторы) и полупроводниковые приборы управления как слаботочной, так и силовой техникой (ШИМ-инверторы, ШИМ-преобразователи). В настоящее время силовая электроника относится к стремительно развивающейся технической отрасли, наряду с развитием которой появились новые источники электрической энергии, преобразующие постоянную электрическую энергию в переменную при помощи различных полупроводниковых устройств (GTO, биполярные транзисторы с изолированной базой IGBT, мощные полевые транзисторы MOSFET). Появление в силовой электронике таких устройств привело к улучшению качества и увеличению спектра применения техники преобразования электрической энергии. Особенностью улучшения является значительное увеличение быстродействия полупроводниковых преобразователей, что позволило снизить массогабаритные показатели, увеличить КПД, надежность, а также реализовать широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) и микропроцессорное управление.

Возможность использования силовых полупроводниковых преобразователей в СЭС и других устройствах дает большой экономический эффект, хотя оставляет много нерешенных вопросов, связанных с энергосбережением. Особую актуальность данная проблема приобретает в связи с ростом уровня индустриализации, преобладанием природоёмких отраслей и устаревших технологий. Поэтому все большее внимание уделяется созданию и исследованию новых альтернативных источников питания [1].

Интенсивное совершенствование современных накопителей электроэнергии высокой удельной мощности способствовало появлению так называемых *преобразователей электрической энергии* – инверторов, построенных на основе силовых полупроводниковых приборов. В силовых электрических сетях широкое применение получили трехфазный и однофазный инвертор с ШИМ в качестве аварийного источника электрической энергии. Все системы аварийного питания работают по общей структурной схеме. Преимуществом аварийных систем, питающихся от электрохимических источников электроэнергии через инвертор с ШИМ, в отличие от аварийных дизель-генераторов, является способность таких систем практически мгновенно взять на себя нагрузку при исчезновении питания основной сети.

Существует множество различных автономных СЭС, источником которых в основном является генераторный агрегат. Это нефтяные платформы, электроэнергетические системы морских судов и подводных лодок, различные аварийные системы питания и др. Основным недостатком этих систем является их ограниченность по мощности с учетом непрерывного постоянного увеличения производительности потребителей, роста потребляемой мощности, создания кратковременных перегрузок, которые приводят к ухудшению качества электрической энергии.

Большинство потребителей электроэнергии составляют электрические машины, которые при включении создают импульсную нагрузку на сеть. Согласно закону Ома, любая электрическая машина, работающая в режиме двигателя, при запуске обладает высоким пусковым моментом:

$$I = \frac{U_c - E}{\sum R}. \quad (1)$$

Поскольку при пуске $E = 0$, электродвигатель будет потреблять высокий пусковой ток. Длительность пускового тока, который потребляют электродвигатели, составляет обычно меньше одной секунды, а значит, запуск электродвигателя оказывает влияние на динамическую устойчивость СЭС [2]. В малонагруженных режимах для экономии топлива инженер-электромеханик промыслового судна зачастую использует в работе один дизель-генераторный агрегат для питания судовой системы. В результате этого для запуска энергоемкого потребителя приходится подключать в параллель второй дизель-генератор, т.е. держать его в «горячем резерве». Это приводит к дополнительным затратам топливных ресурсов. Выходом из сложившейся ситуации будет являться подключение дополнительного неинерционного источника переменного напряжения. На данном этапе развития технологий в области судовой автоматики все большее распространение получают вторичные источники бесперебойного питания с улучшенными показателями качества электрической энергии. Применение накопителей электрической энергии в таких системах способно значительно улучшить свойства существующих источников питания.

Включение в параллель даже неинерционного источника электрической энергии является сложным технологическим процессом, обусловленным рядом условий. Для безударного включения источника, в данном случае даже инвертора, на параллельную работу необходимо выполнить следующие условия синхронизации:

– для трехфазной системы питания:

- 1) равенство напряжения U_c сети и ЭДС E подключаемого источника, т.е. $|U| = |E|$;
- 2) равенство частот сети f_c и подключаемого источника f , т.е. $f_c = f$;
- 3) совпадение по фазе одноименных векторов фазных напряжений подключаемого источника и сети, а именно равенство нулю угла сдвига по фазе указанных векторов, т.е. $\varphi = 0^\circ$;

одинаковый порядок чередования фаз трехфазных генераторов, т.е. А-В-С и А-В-С. На практике это означает, что выводы А, В и С каждого генератора должны при включении на шины подключаться к шинам, соответственно, А, В и С ГРЩ [2];

– для однофазной системы питания:

- 1) равенство напряжения U_c сети и ЭДС E_r подключаемого источника, т.е. $|U_c| = |E|$;
- 2) равенство частот сети f_c и подключаемого источника f , т.е. $f_c = f$;
- 3) совпадение по фазе одноименных векторов фазных напряжений подключаемого источника и сети или, иначе, равенство нулю угла сдвига по фазе указанных векторов, т.е. $\varphi = 0^\circ$.

При выполнении этих условий источник успешно войдет в синхронизм с сетью и не создаст существенных отклонений по частоте питающей сети и напряжению, определенных требованиями Российского морского регистра судоходства в судовых электроэнергетических системах и межгосударственного стандарта [3] – [5].

Предлагается выполнить исследование возможного включения инвертора и питающей сети переменного напряжения на параллельную работу, а также влияния на параметры качества электрической энергии совместной работы инвертора на сеть при подключении нагрузки на примере однофазной системы питания при помощи компьютерной программы *Matlab R2012a*. Для создания виртуальной модели необходимо разработать функциональную схему и алгоритм математических расчетов и формул, на основании которых будет работать моделируемое устройство, функциональная схема подключения которого приведена на рис. 1.

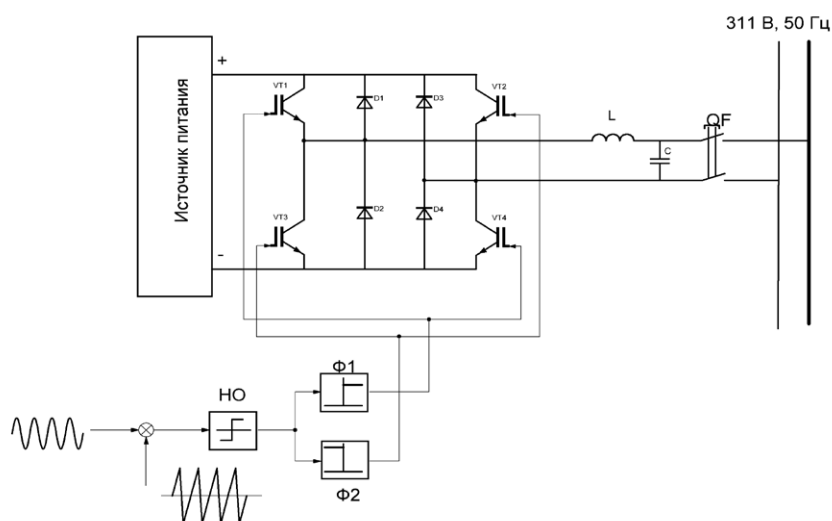


Рис. 1. Схема подключения однофазного инвертора к сети

Однофазный инвертор получает питание от источника постоянного напряжения. $VT1 - VT4$ электронные ключи, каждый из которых включает IGBT-транзистор, работающий в ключевом режиме, и диод обратного тока. Система управления транзисторными ключами содержит в своем составе ноль-орган (НО) и формирователи $\Phi 1$ и $\Phi 2$. На входе НО сравниваются задающий синусоидальный сигнал и пилообразное опорное напряжение, а их разность задает открытие пар транзисторов. При помощи управляющего сигнала на базе транзисторов можно регулировать амплитудное значение напряжения и частоты выходного сигнала, а также задавать фазовый сдвиг выходного напряжения на инверторе [6].

Для подтверждения предлагаемой схемы подключения в программе *Matlab R2012a* была разработана имитационная модель однофазного инвертора с возможностью ввода в параллель с однофазной сетью (рис. 2). В составе модели инвертор с ШИМ, представленный блоками *IGBT*, *Diode*, *Repeating Sequence* и источником постоянного напряжения $U = 300$ В, однофазный источник переменного напряжения $U_c = 300$ В, активно-индуктивная нагрузка, задатчик управляющих импульсов для управления работой двух пар IGBT-транзисторов [7], [8].

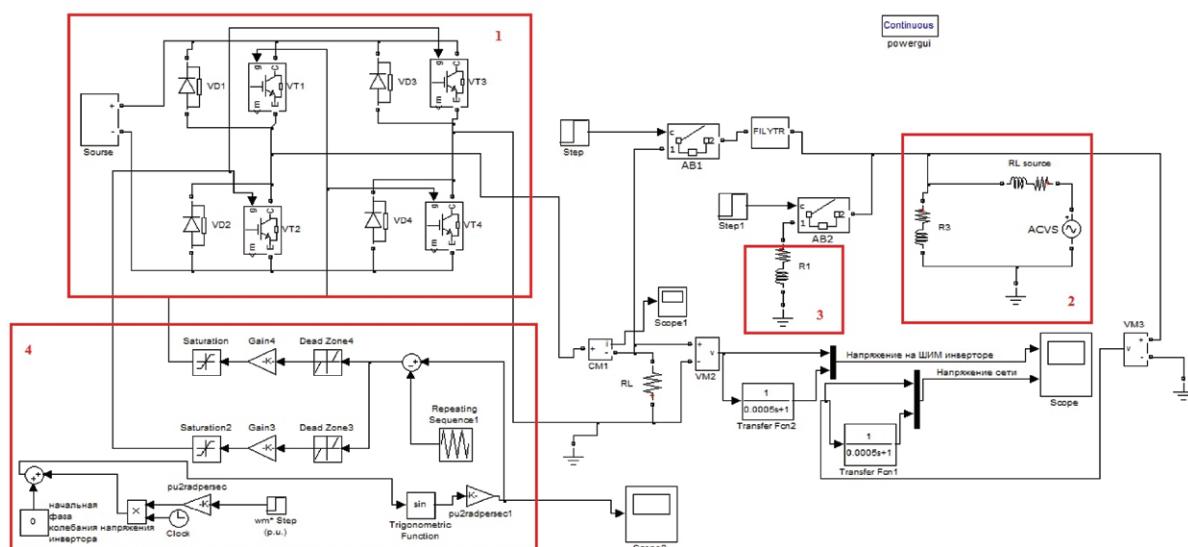


Рис. 2. Имитационная модель для исследования синхронизации инвертора и однофазной сети:

- 1 – инвертор на IGBT-транзисторах; 2 – однофазная сеть;
3 – активно-индуктивная нагрузка; 4 – модуль управления IGBT транзисторами

Управляющий сигнал складывается из разности задающего пилообразного сигнала высокой частоты и синусоидального сигнала, изменяющегося согласно закону

$$U_0 = \sin(\omega \cdot t + \varphi), \quad (2)$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота, задаваемая блоком *Gain* библиотеки *Simulink*; φ – начальная фаза колебания, представленная блоком *Const*, при помощи которого можно регулировать фазовый сдвиг выходного сигнала [9].

Для однофазной СЭС выполнение первых двух условий синхронизации обычно не составляет никаких трудностей, проблемой является обеспечение третьего условия синхронизма, так как действующее значение переменного напряжения постоянно изменяется, вследствие чего сдвиг синусоид напряжений сети и подключаемого источника будет иметь случайный характер и изменяться во времени. В настоящее время не существует таких систем, которые могли бы обеспечивать постоянный нулевой сдвиг по фазе колебания сети переменного тока и подключаемого источника.

Как известно, включение в электрическую цепь активно-индуктивной нагрузки вызывает высокое динамическое возмущение, которое сопровождается провалом напряжения и изменением частоты питающей сети. Постоянное включение такой нагрузки негативно сказывается на качестве параметров сети, и если в системах берегового электроснабжения есть отдельные узлы, которые компенсируют провал, не создав существенных изменений, то в различных элементах СЭС, ввиду высоких массогабаритных характеристик, таких узлов нет. Создание малогабаритных устройств, работающих через ШИМ-инвертор, позволит устранить такую проблему и улучшить параметры качества электрической энергии. Разработка компьютерной модели даст возможность исследовать особенности всех условий синхронизма и доказать возможность параллельной работы инвертора на сеть.

Исходя из ранее изложенного, предлагается исследовать параллельную работу однофазной сети и инвертора с ШИМ при динамических возмущениях, разработанную в программе *Matlab* (см. рис. 2). Был выполнен первый эксперимент: в момент времени $t = 0,05$ с к однофазной сети подключена активно-индуктивная нагрузка и в момент времени $t = 0,1$ в параллельную работу подключен инвертор с ШИМ. Результаты моделирования приведены на рис. 3.

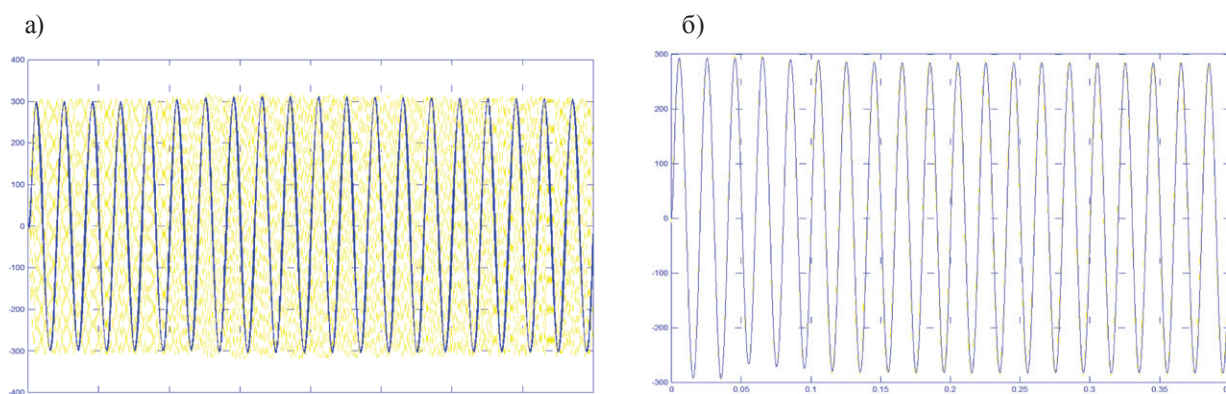


Рис. 3. Результаты моделирования первого эксперимента:
графики зависимости выходного напряжения на ШИМ инверторе от времени (а)
и выходного напряжения однофазной сети от времени (б)

Из графиков видно, что однофазный ШИМ-инвертор удачно вошел в синхронизм с сетью, взяв на себя часть нагрузки, при этом начальная фаза колебания была равна 0° .

Рассмотрим второй эксперимент с той же моделью, только взяв начальную фазу колебаний $j = 60^\circ$ (рис. 4). В результате эксперимента по графикам можно судить о том, что ШИМ-инвертор не вошел в синхронизм с заданной однофазной сетью (рис. 5). Несоблюдение третьего условия синхронизма для однофазной сети привело к резкому скачку напряжения на инверторе и снижению общего питающего напряжения.

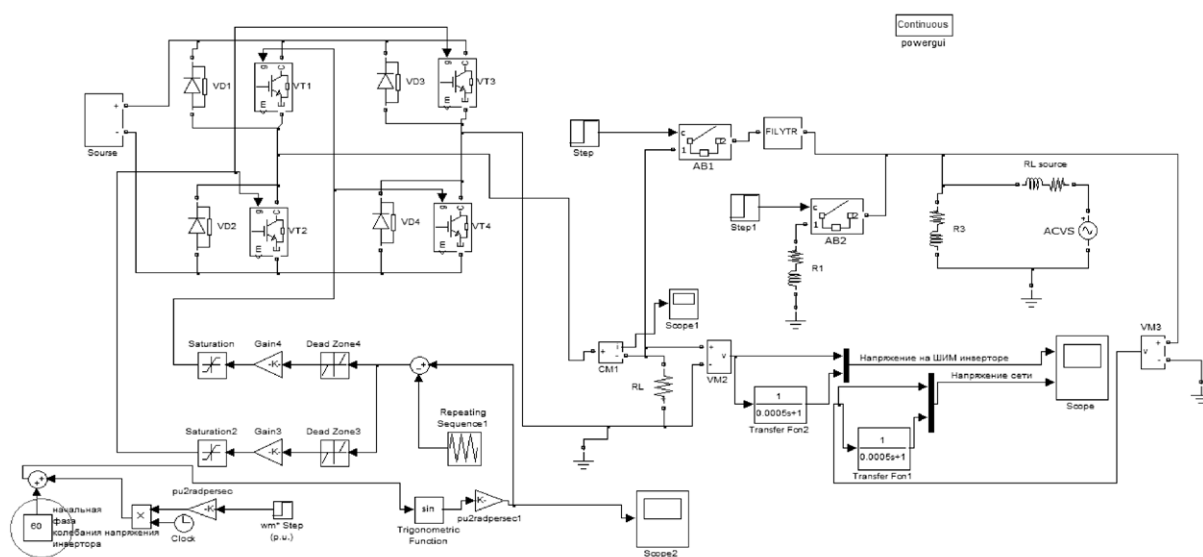


Рис. 4. Имитационная модель для исследования синхронизации инвертора и однофазной сети с фазовым сдвигом напряжения на ШИМ-инверторе $j = 60^\circ$

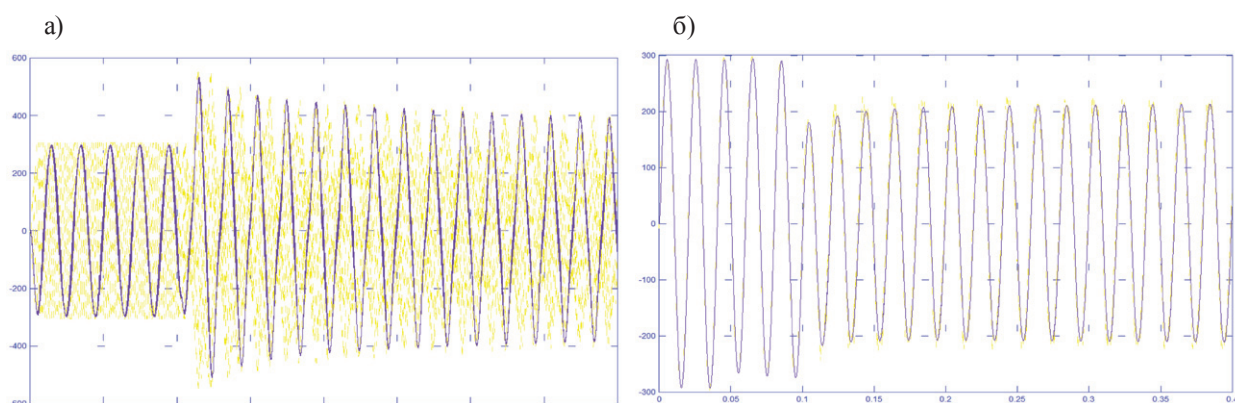


Рис. 5. Результаты моделирования второго эксперимента
графики зависимость выходного напряжения на ШИМ инверторе от времени (а);
зависимость выходного напряжения однофазной сети от времени (б)

В момент времени $t = 0,1$ с происходит включение в однофазную сеть активно-индуктивной нагрузки, одновременно с этим для компенсации провала напряжения включается на параллельную работу второй источник, работающий через ШИМ-инвертор. В момент включения дополнительного источника вместо компенсации в однофазной сети произошло недопустимое по требованиям как судового, так и берегового электроснабжения отклонение напряжения на 35 % (см. рис. 5 б), сопровождающееся скачком напряжения на ШИМ-инверторе до 40 % от номинального (см. рис. 5 а).

Таким образом, исследование модели доказывает, что предлагаемое неинерционное устройство, работающее через ШИМ-инвертор, способно практически мгновенно синхронизироваться с питающей сетью и компенсировать провалы напряжения при подключении различных видов нагрузок. В результате включения такого устройства в параллель с сетью минимизируется диапазон отклонения частоты и напряжения питающей сети, что, несомненно, приведет к улучшению параметров качества электроэнергии, вырабатываемой сетью даже при динамических возмущениях.

Предлагаемое техническое решение может быть реализовано на судах рыбопромыслового флота и электростанциях, эксплуатирующихся в режиме резкого изменения нагрузки со стороны

потребителя, как в большую, так и в меньшую сторону [10]. Исследование на примере работы ШИМ-инвертора на однофазную электрическую сеть выявило не только положительные стороны данного устройства, связанные с улучшением качества параметров электроэнергии, но и определило очень важный недостаток, связанный с проблемой синхронизации. Результаты исследования свидетельствуют о том, что применение дополнительного мощного источника в динамических режимах работы электрической сети позволит снизить провалы по напряжению и частоте, но необходимой остается разработка такого устройства, которое позволит держать источник высокой удельной мощности в «горячем» состоянии, постоянно сохраняя фазовый сдвиг напряжений с сетью равным нулю.

Список литературы

1. Труднев С. Ю. Разработка и исследование модели устройства активной защиты генераторного агрегата от кратковременных перегрузок / С. Ю. Труднев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2014. – № 2. – С. 23–31.
2. Труднев С. Ю. Компьютерное моделирование режимов кратковременных перегрузок работы судовой электростанции / С. Ю. Труднев, Н. Н. Портнягин // 5-я межвузов. науч.-практ. конф. асп., студ. и курс. на тему «Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России» (14 мая 2014 г.). – СПб., 2014. – С. 154–161.
3. Правила классификации и постройки морских судов. – СПб.: Транспорт, 2010. – 280 с.
4. Межгосударственный стандарт ГОСТ 32144-2013. – М.: Стандартиформ, 2013. – 16 с.
5. Межгосударственный стандарт ГОСТ 29322-92. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 7 с.
- Сергиенко Л. И. Электроэнергетические системы морских судов / Л. И. Сергиенко, В. В. Миронов. – М.: Транспорт, 1991. – 368 с.
6. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г. Г. Соколовский. – М.: АCADEMA, 2006. – 265 с.
7. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB Sim Power Systems и Simulink / И. В. Черных. – СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
8. Труднев С. Ю. Разработка математической модели вторичного источника питания // Наука, образование, инновации: пути развития: материалы Четвертой Всерос. науч.-практ. конф. (23–25 апр. 2013 г.). – Петропавловск-Камчатский, 2013. – Ч. 1. – С. 143–145.
9. Пат. RU 133364 U1. Устройство для определения и ликвидации предотказных состояний синхронной машины / С. Ю. Труднев, Н. Н. Портнягин. Заявлено 10.10.2013. – Бюл. 28.

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

УДК 678,67.014,67.017,67.019

Е. Н. Белецкий,
главный технолог,
ОАО «Концерн НПО «Аврора»»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНСТРУМЕНТА ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ УГЛЕПЛАСТИКОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СУДОСТРОЕНИИ

MODELING OF THE PROCESS OF FORCE INTERACTION OF THE TOOL IN THE MACHINING OF WORKPIECES CRITICAL PARTS MADE OF COMPOSITE PLASTICS USED IN SHIPBUILDING

В современном судостроении активно применяют композиционные углепластики. Однако существует много проблем, связанных с механической обработкой заготовок из данных материалов. Так, на этапе формообразования поверхностей деталей возникают дефекты, снижающие показатели качества изделий по параметрам точности и шероховатости поверхности. Добиться технических требований, указанных на чертеже, возможно только за счет рационально назначенных режимов обработки, обеспечивающих рациональное силовое взаимодействие режущего клина инструмента на поверхность разрушаемого материала.

В статье рассмотрено моделирование данного силового взаимодействия. Приведены расчетные зависимости, оценки нормальных и касательных деформаций, а также получена аналитическим способом зависимость для заднего угла режущего клина. Представлены зависимости заднего угла от геометрического многоугольника действующих сил при разрушении и зависимость заднего угла от модуля упругости обрабатываемого антифрикционного углепластика.

In modern shipbuilding actively use composite plastics. However, there are many problems associated with the machining of the blanks of these materials. So, at the stage of forming surfaces of the parts, there are defects that reduce quality products on the parameters of accuracy and surface roughness. To achieve the technical requirements specified on the drawing, is only possible due to rationally assigned processing modes, particularly for rational force interaction of the cutting wedge of the tool on the surface of the erodible material.

The article describes the modeling of this force interaction. The calculated dependence of the evaluation of the normal and tangential deformations, as well as the analytical method, the dependence of the rear angle of the cutting wedge. Presents the dependence of the rear corner from the geometric polygon actors in the destruction and the dependence of the rear corner from the elastic modulus of the processed antifriction carbon fiber.

Ключевые слова: подшипники скольжения, подпятники, судовые энергетические установки, композиционные антифрикционные углепластики, механическая обработка, разрушение, силовое взаимодействие.

Key words: bearings, thrust bearings, ship power plant, composite antifriction carbon plastics, machining, destruction, force interaction.



СОВРЕМЕННЫЕ судовые силовые энергетические установки требуют от применяемых конструкционных материалов высоких эксплуатационных свойств, прежде всего отвечающих за работоспособность и ресурс. Традиционные конструкционные материалы на основе металлов и их сплавов не в состоянии удовлетворить эти требованиям. Поэтому широкое применение получают композиционные материалы — реактопласты на основе полимерных смол (фенольных, эпоксидных и др.) и угольного волокна — углепластики антифрикционного назначения марок ФУТ и УГЭТ. Эти композиты обладают рядом достоинств: высокие удельные прочностные и упругие характеристики; стойкость к агрессивным химическим средам; низкая тепло- и электропроводность; уникальные триботехнические характеристики и др. Указанные физико-хи-

мические свойства позволяют успешно применять их для экстремальных условий работы узлов машин, спроектированных для нужд оборонного комплекса страны, энергетики и транспорта.

При изготовлении агрегатов паровых турбин используют большую номенклатуру крупногабаритных деталей из углепластиков (подпятников, подшипников, втулок направляющего аппарата, сферических подшипников скольжения, шаровых опор и др.). Основным способом крепления этих деталей в агрегатах является механический, посредством отверстий, выполненных по 7–10-му квалитетам точности с высокими требованиями по параметрам качества и отклонения формы (овальности, конусообразности), шероховатости до Ra не выше чем 6,3 мкм, отсутствию дефектного слоя, микротрещин, вырывов материала и т.п. (см. рис. 1) [1]–[4].

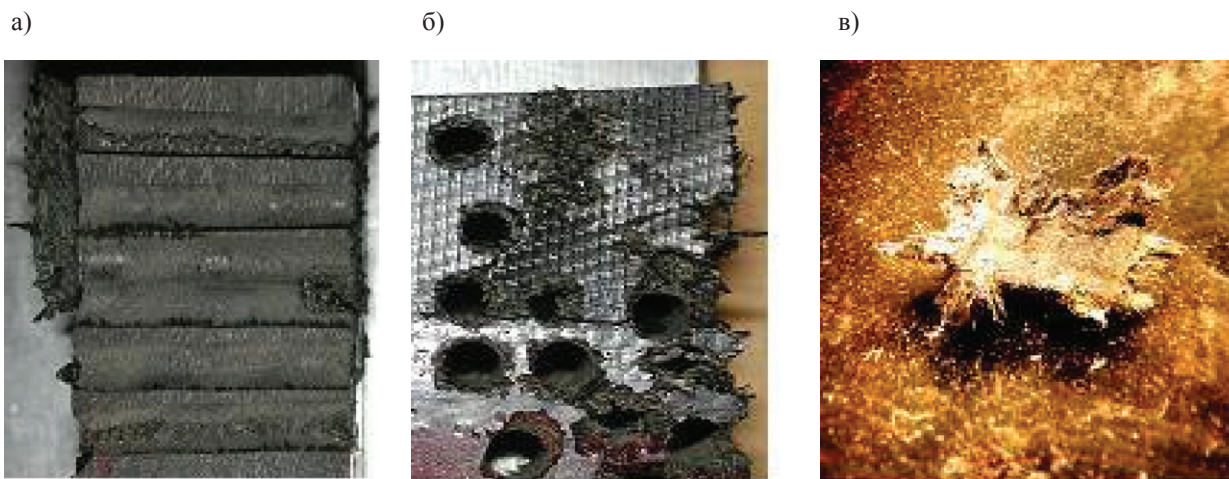


Рис. 1. Дефекты поверхности после механической обработки:

а — расслоение материала при выходе сверла; *б* — результат термического воздействия; *в* — часть матрицы с армирующим волокном, вырванным с поверхности заготовки [1]

Заготовительные операции методом прессования не обеспечивают заданной точности и качества, а в ряде случаев получение отверстий на этих операциях вообще невозможно. Раскрой материала с помощью алмаза и гидроабразивная резка приводят к появлению дефектного слоя до 2 и более мм, что также требует финишной отделочной обработки. Поэтому основным методом является сверление отверстий спиральными сверлами. Процесс механической лезвийной обработки углепластиков в настоящее время целиком изучен мало. Применительно к современному авиа- и судостроению, производству ракетной техники известны некоторые работы, в которых рассмотрены частные вопросы механической обработки реактопластов. При расширении областей использования углепластиков в различных отраслях машиностроения актуальной является разработка научно обоснованной технологии механической лезвийной обработки композиционных материалов, опирающейся на моделирование процессов разрушения резанием с дифференцированным учетом их специфических физико-химических свойств.

Моделирование процесса силового взаимодействия

При соприкосновении режущего инструмента с материалом возникают деформации. Режущая кромка, нажимая на участки, расположенные под нижней частью режущего клина, прогибается, что создает давление и трение между этим участком материала и задней гранью режущего инструмента. Деформации, возникающие под режущей кромкой, исчезают после отхода режущего инструмента от деформированного участка. По мере затупления режущего инструмента усилия резания становятся больше, деформации материала растут, соответственно возрастают и остаточные деформации. Таким образом, величина срезаемого слоя помимо других факторов обуславливается затуплением лезвия инструмента. Радиус закругления лезвия возрастает по мере затупле-

ния инструмента, при этом увеличиваются давление на материал и отжим его инструментом и, следовательно, понижается точность обработки.

Величина заднего угла оказывает существенное влияние на стойкость инструмента и силу резания материала. Установка оптимального значения заднего угла заточки производится с учетом деформации поверхностных слоев материала, на которые действуют усилия со стороны инструмента. При воздействии инструмента на обрабатываемый материал наблюдаются пластические и упругие деформации материала, возникающие около передней и задней поверхности режущего инструмента.

В результате давления, которое оказывает режущий инструмент, материал под ним деформируется, и в том случае, когда задний угол α невелик, материал прижимается к задней поверхности инструмента. Это ведет к увеличению силы резания, так как возникает трение между материалом и задней поверхностью инструмента. В результате наблюдается нагревание инструмента. Задняя поверхность несколько приглаживает неровности, полученные после обработки. При этом часто возникает нежелательное «засаливание» поверхности или образуются прижоги материала.

В работах [4], проводимых И. И. Капустиным и П. И. Буровым по резанию неметаллов, имеющих волокнистую структуру, рассмотрен процесс воздействия инструмента на обрабатываемую поверхность. Данную методику можно применить для моделирования процесса взаимодействия инструмента с заготовкой для КУ.

Определим напряжения, возникающие в обрабатываемом материале и величину наблюдаемых при этом деформаций — см. рис. 2 [1].

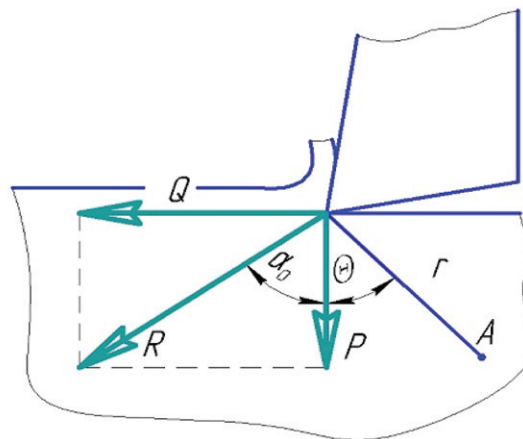


Рис. 2. Силы, действующие на поверхностный слой композиционного материала

На обрабатываемый материал действуют усилия P , направленные перпендикулярно (радиально P_x для механической обработки) разрушаемой поверхности при механической обработке, и Q , направленное по касательной (тангенциально P_z) к поверхности, как это показано на рис. 2. Тангенс угла между равнодействующей $R = \sqrt{P^2 + Q^2}$ и вертикально направленной силой P составит:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{Q}{P}. \quad (1)$$

Итак, на обрабатываемый композиционный материал действует сила R , образующая с вертикалью угол, равный α_0 . Деформации, наблюдаемые при обработке, довольно быстро исчезают по мере удаления от точки приложения силы. Таким образом, имеем схему нагрузки, показанную на рис. 1. В точке A с координатами r и θ действуют следующие напряжения. Нормальное напряжение в радиальном направлении:

$$\sigma_r = -\frac{2R}{\pi r} \cos(\alpha_0 + \theta). \quad (2)$$

Вывод данной формулы основан на использовании теории контактного взаимодействия в частности решении задачи Фламера [5–7].

Нормальное напряжение в тангенциальном направлении $\sigma_\theta = 0$.

Тангенциальное напряжение $\tau_{r\theta} = 0$.

При использовании законов Гука составляющие деформации могут быть выражены в зависимости от напряжений следующим образом [8].

Относительное удлинение в радиальном направлении

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} (\sigma_r - \gamma \sigma_\theta). \quad (3)$$

Относительное удлинение в тангенциальном направлении

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E} (\sigma_\theta - \gamma \sigma_r). \quad (4)$$

Изменение угла (деформация сдвиг)

$$\gamma_{r\theta} = \frac{1}{G} \tau_{r\theta}. \quad (5)$$

где: E — модуль нормальной упругости 1-го рода, МПа; G — модуль нормальной упругости 2-го рода МПа; γ — коэффициент Пуассона.

Но составляющие деформации следующим образом выражаются в зависимости от деформации в радиальном направлении и деформации в тангенциальном направлении:

$$\begin{aligned} \varepsilon_r &= \frac{\partial u}{\partial r}; \quad \varepsilon_\theta = \frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r}; \\ \varepsilon_\theta &= \frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \quad \text{и} \quad \gamma_{r\theta} = \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r}. \end{aligned} \quad (6)$$

Таким образом, имеем три условия контактного взаимодействия:

$$\text{I. } \frac{\partial u}{\partial r} = \frac{1}{E} (\sigma_r - \gamma \sigma_\theta) = -\frac{1}{E} \frac{2R}{\pi r} \cos(\alpha_o + \theta); \quad (7)$$

$$\text{II. } \frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} = \frac{1}{E} (\sigma_\theta - \gamma \sigma_r) = \frac{1}{E} \frac{2R}{\pi r} \gamma \cos(\alpha_o + \theta); \quad (8)$$

$$\text{III. } \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} = 0. \quad (9)$$

После ряда математических преобразований (более подробный вывод представлен в работе [1]) получаем следующие выражения для перемещений:

$$\begin{aligned} u &= -\frac{2R}{\pi E} \ln r \cos(\alpha_o + \theta) - \frac{R(1-\gamma)}{\pi E} (\alpha_o + \theta) \sin(\alpha_o + \theta) + A \cos(\alpha_o + \theta) + \\ &+ B \sin(\alpha_o + \theta). \end{aligned} \quad (10)$$

Для определения v необходимо найти величину $\int f(\theta) d\theta$:

$$\begin{aligned} \int f(\theta) d\theta &= -\frac{2R(1-\gamma)}{\pi E} \sin(\alpha_o + \theta) + \frac{R(1-\gamma)}{\pi E} \sin(\alpha_o + \theta) + \\ &+ \frac{R(1-\gamma)}{\pi E} (\alpha_o + \theta) \cos(\alpha_o + \theta) + A \sin(\alpha_o + \theta) - B \cos(\alpha_o + \theta). \end{aligned} \quad (11)$$

Таким образом, для v получаем следующее выражение:

$$v = \frac{2R}{\pi E} \ln r \sin(\alpha_o + \theta) - \frac{R(1-\gamma)}{\pi E} (\alpha_o + \theta) \cos(\alpha_o + \theta) +$$

$$+ \frac{R(1-\gamma)}{\pi E} \sin(\alpha_o + \theta) - A \sin(\alpha_o + \theta) + B \cos(\alpha_o + \theta) + cr. \quad (12)$$

Постоянные A , B и C входящие в уравнение деформации, определяются из условий закрепления пластинки. Принимаем, что бесконечная пластинка закреплена таким образом, что в точке B (рис. 3), лежащей по направлению действия силы R , невозможно ни радиальное, ни тангенциальное перемещение пластинки [1].

Следовательно, получим

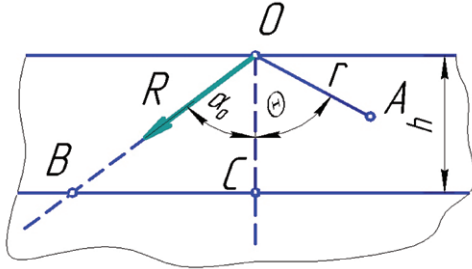


Рис. 3. Условие закрепления образца

$$u\left(\frac{h}{\cos \alpha_o}, \alpha_o\right) = 0; \quad (13)$$

$$v\left(\frac{h}{\cos \alpha_o}, \alpha_o\right) = 0. \quad (14)$$

В точке C , находящейся на линии, перпендикулярной к верхнему краю пластинки, невозможно радиальное перемещение.

Следовательно,

$$u(h, 0) = 0. \quad (15)$$

Используем два первых условия:

$$u\left(\frac{h}{\cos \alpha_o}, \alpha_o\right) = -\frac{2R \ln\left(\frac{h}{\cos \alpha_o}\right)}{\pi E} + A = 0. \quad (16)$$

Отсюда находим

$$A = R\left(\frac{2}{\pi E} \ln \frac{h}{\cos \alpha_o}\right) \text{ и } v\left(\frac{h}{\cos \alpha_o}, \alpha_o\right) = B + C \frac{h}{\cos \alpha_o} = 0; \quad (17)$$

Отсюда

$$C = -B \frac{\cos \alpha_o}{h}. \quad (18)$$

В таком случае выражение для перемещений будет иметь следующую форму:

$$u = -\frac{2R}{\pi E} \ln r \cos(\alpha_o + \theta) - \frac{R(1-\gamma)}{\pi E} (\alpha_o + \theta) \sin(\alpha_o + \theta) + \\ + \frac{2R}{\pi E} \ln\left(\frac{h}{\cos \alpha_o}\right) \cos(\alpha_o + \theta) + B \sin(\alpha_o + \theta). \quad (19)$$

Используя третье условие, получим

$$u(h, 0) = -\frac{2R}{\pi E} \ln h \cos \alpha_o - \frac{R(1-\gamma)}{\pi E} \alpha_o \sin \alpha_o + \frac{2R}{\pi E} \ln\left(\frac{h}{\cos \alpha_o}\right) \cos \alpha_o + B \sin \alpha_o = 0, \quad (20)$$

откуда получим

$$B \sin \alpha_o = \frac{2R}{\pi E} (\ln h) \cos \alpha_o + \frac{R(1-\gamma)}{\pi E} \alpha_o \sin \alpha_o - \frac{2R}{\pi E} \ln\left(\frac{h}{\cos \alpha_o}\right) \cos \alpha_o. \quad (21)$$

После подстановки значений получим следующие выражения для радиального и тангенциального перемещения.

Радиальное перемещение под режущим клином в случае, когда $\theta = \frac{\pi}{2}$, составит:

$$u = \frac{R}{\pi E} \left\langle -2 \ln r \cos(\alpha_o + \theta) - (1-\gamma)(\alpha_o + \theta) \sin(\alpha_o + \theta) + 2 \ln\left(\frac{h}{\cos \alpha_o}\right) \cos(\alpha_o + \theta) + \right. \\ \left. + [2(\ln \cos \alpha_o) \cot g \alpha_o + (1-\gamma)\alpha_o] \sin(\alpha_o + \theta) \right\rangle. \quad (22)$$

Или окончательное тангенциальное перемещение

$$\nu = \frac{R}{\pi E} \left\langle 2 \cos \alpha_o \ln \left(\frac{r}{h} \right) + [(1 - \nu) \frac{\pi}{2} \sin \alpha_o + (1 + \nu) \cos \alpha_o] - \right. \\ \left. - \frac{r}{h} \left[2 (\ln \cos \alpha_o) \frac{\cos^2 \alpha_o}{\sin \alpha_o} + (1 + \nu) \alpha_o \cos \alpha_o \right] \right\rangle. \quad (23)$$

Таким образом, уравнение изогнутой поверхности пластинки в параметрической форме будет представлено следующим образом по данным, показанным на рис. 4:

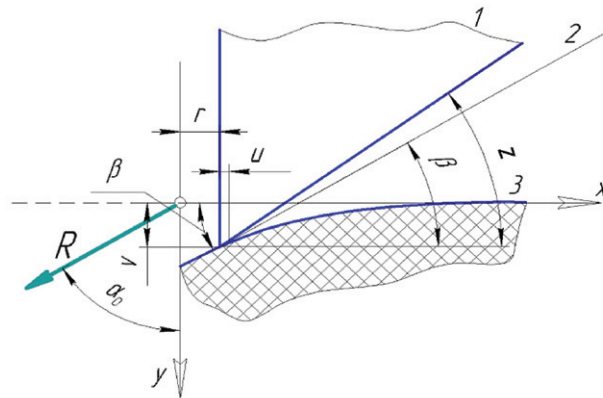


Рис. 4. Деформация поверхности заготовки под режущим клином инструмента:
1 — режущий клин инструмента; 2 — касательная к деформированной поверхности образца,
3 — деформированная поверхность [1], [10]

$$x = r + u\left(\frac{\pi}{2}, r\right); \quad (24)$$

$$y = v\left(\frac{\pi}{2}, r\right), \quad (25)$$

где

$$u\left(\frac{\pi}{2}, r\right) = \frac{R}{\pi E} \left\langle 2 \sin \alpha_o \ln \left(\frac{r}{h} \right) + \left[2 \frac{\ln \cos \alpha_o}{\sin \alpha_o} - (1 - \nu) \frac{\pi}{2} \cos \alpha_o \right] \right\rangle, \quad (26)$$

$$v\left(\frac{\pi}{2}, r\right) = \frac{R}{\pi E} \left\langle 2 \cos \alpha_o \ln \left(\frac{r}{h} \right) - \frac{r}{h} \left[2 (\ln \cos \alpha_o) \frac{\cos^2 \alpha_o}{\sin \alpha_o} + (1 + \gamma) \alpha_o \cos \alpha_o \right] \right. \\ \left. + \left[(1 - \gamma) \frac{\pi}{2} \sin \alpha_o + (1 + \gamma) \cos \alpha_o \right] \right\rangle. \quad (27)$$

Здесь R имеет размерность в $H/мм$; нагрузка приложена по ширине режущей поверхности материала.

Введем обозначение:

$$2 \frac{\ln \cos \alpha_o}{\sin \alpha_o} - (1 - \gamma) \frac{\pi}{2} \cos \alpha_o = \alpha; \quad (28)$$

$$2 (\ln \cos \alpha_o) \frac{\cos^2 \alpha_o}{\sin \alpha_o} + (1 + \gamma) \alpha_o \cos \alpha_o = b; \quad (29)$$

$$(1 - \mu) \frac{\pi}{2} \sin \alpha_o + (1 + \gamma) \cos \alpha_o = c. \quad (30)$$

Итак, будем иметь:

$$x = r + \frac{R}{\pi E} 2 \sin \alpha_o \ln\left(\frac{r}{h}\right) + \frac{R}{\pi E} \alpha; \quad (31)$$

$$y = -\frac{R}{\pi E} \frac{b}{h} r + \frac{R}{\pi E} 2 \cos \alpha_o \ln\left(\frac{r}{h}\right) + \frac{R}{\pi E} c. \quad (32)$$

Определим угол наклона касательной к этой кривой:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{dy}{dr}}{\frac{dx}{dr}}. \quad (33)$$

Определим величину производных $\frac{dy}{dr}$ и $\frac{dx}{dr}$:

$$\frac{dy}{dr} = -\frac{R}{\pi E} \frac{b}{h} + \frac{R}{\pi E} \frac{2 \cos \alpha_o}{h} \frac{1}{r}, \quad (34)$$

$$\frac{dx}{dr} = 1 + \frac{R}{\pi E} \frac{2 \sin \alpha_o}{h} \frac{1}{r}. \quad (35)$$

Отсюда находим

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-\frac{R}{\pi E} \frac{b}{h} + \frac{2R}{\pi E} \cos \alpha_o \frac{1}{r}}{1 + \frac{R}{\pi E} 2 \sin \alpha_o \frac{1}{r}}. \quad (36)$$

Или, преобразовав, получим:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-\frac{b}{h} + 2 \cos \alpha_o \frac{1}{r}}{\frac{\pi E}{R} + 2 \sin \alpha_o \frac{1}{r}} = \frac{-\frac{b}{h} r + 2 \cos \alpha_o}{\frac{\pi E}{R} r + 2 \sin \alpha_o}. \quad (37)$$

Очевидно, что в случае $r = 0$ или фактически в случае весьма небольшого r , равного радиусу той сферы, в которой происходит пластическая деформация, получим:

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{ctg} \alpha_o = \operatorname{tg} \alpha_1. \quad (38)$$

Таким образом, касательная к изогнутой поверхности под режущим клином инструмента образует с вертикалью угол, равный углу между направлением равнодействующей и вертикалью. Значение $\operatorname{tg} \alpha_1$ — тангенса угла наклона касательной к изогнутой поверхности — определяется из уравнения

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{dy}{dx} = \frac{-2[\lg(\cos \alpha_o) \frac{\cos^2 \alpha_o}{\sin \alpha_o} + (1 + \gamma) \alpha_o \cos \alpha_o] \frac{r}{h} + 2 \cos \alpha_o}{\frac{\pi E}{R} r + 2 \sin \alpha_o}. \quad (39)$$

Чтобы исключить трение между задней поверхностью инструмента и обрабатываемым материалом, необходимо, чтобы задний угол был больше, чем угол α_1 , т. е.

$$\operatorname{tg} \alpha > \frac{-2[\lg(\cos \alpha_o) \frac{\cos^2 \alpha_o}{\sin \alpha_o} + (1 + \gamma) \alpha_o \cos \alpha_o] \frac{r_1}{h} + 2 \cos \alpha_o}{\frac{\pi E}{R} r_1 + 2 \sin \alpha_o}. \quad (40)$$

Здесь r_1 — расстояние от точки, в которой приложена сила до границы упругой зоны; оно определяется из следующего уравнения:

$$\frac{2R}{\pi r_1} \cos(\alpha_o + \frac{\pi}{2}) = (\sigma_r)_{\max}; \quad (41)$$

$$\frac{2R}{\pi r_1} \sin \alpha_o = (\sigma_r)_{\max}. \quad (42)$$

Здесь $(\sigma_r)_{\max}$ — максимальное значение нормального напряжения, при котором материал имеет упругие деформации. Из уравнения находим:

$$r_1 = \frac{2 \sin \alpha_o R}{\pi (\sigma_r)_{\max}}. \quad (43)$$

Подставив эти значения r_1 в формулу для определения угла, получим окончательно:

$$\operatorname{tg} \alpha > \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_o \right) \frac{1 - [2(\ln \cos \alpha_o) \cos \alpha_o + (1 + \gamma) \alpha_o \sin \alpha_o] \frac{R}{\pi h (\sigma_r)_{\max}}}{1 + \frac{E}{(\sigma_r)_{\max}}}. \quad (44)$$

Выражение $1 - [2(\ln \cos \alpha_o) \cos \alpha_o + (1 + \gamma) \alpha_o \sin \alpha_o] \frac{R}{\pi h (\sigma_r)_{\max}}$ мало по сравнению с единицей, поэтому последнее уравнение приводится к виду

$$\operatorname{tg} \alpha > \operatorname{ctg} \alpha_1 \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon}, \quad (45)$$

где ε — соответствующая относительная деформация материала; α_1 — угол, равный $\frac{\pi}{2} - \alpha_o$.

Проанализируем величину заднего угла согласно выше представленных формул. Величину угла альфа можно рассчитать:

$$\alpha_o = \operatorname{artg} \frac{Q}{P}. \quad (46)$$

Величина составляющих сил резания Q и P (рис. 3) при лезвийной обработке композиционного углепластика примерно одинакова, как показали практические опыты. Следовательно, величина угла α_o будет равна $30-60^\circ$. Угол α_o в процессе механической обработки имеет тенденцию изменяться в силу изменения составляющих сил резания вследствие износа режущего инструмента. На рис. 5 показан график зависимости заднего угла инструмента от угла между составляющими сил резания [1]–[10]. Из графика видно, что для процесса лезвийной обработки КУ величина заднего угла должна быть больше 2° . Данное значение теоретического заднего угла инструмента обусловлено тем, что в формулу для расчета заднего угла подставлялось значение модуля нормального напряжения всего композита в целом.

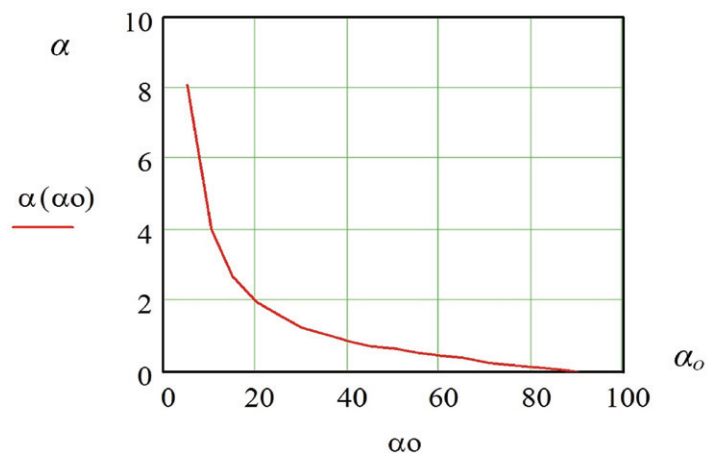


Рис. 5. Зависимость заднего угла от угла, образованного составляющими силами резания

Не принимается во внимание тот факт, что матрица обладает более высокими упругими свойствами, что и является причиной упругого последствия материала. Рассмотрим величину теоретического заднего угла рассчитанного по формуле (46) в зависимости от модуля нормальной упругости (см. рис. 6). Из графика видно, что величина заднего угла инструмента соответствующего модулю нормального растяжения эпоксидной смолы (30–50 МПа), будет равна 24–36°.

Известно, что в случаях малых задних углов трение задней поверхности по поверхности заготовки увеличивается, соответственно увеличивается расход энергии.

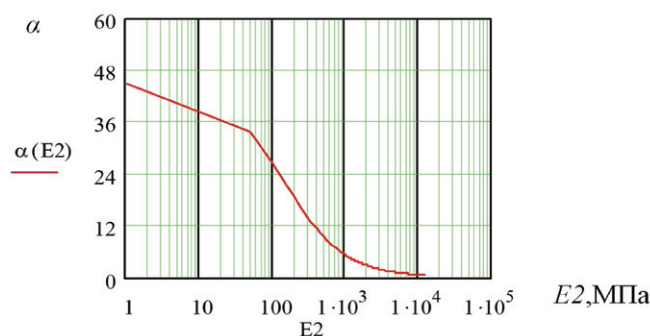


Рис. 6. Зависимость заднего угла от модуля нормальной упругости обрабатываемого материала

Выводы

Приведенные расчеты [1]–[10] по предложенному выше алгоритму показывают, что поперечный модуль упругости композиционного углепластика существенно зависит от структурных параметров материала, меняющихся в широких пределах. Однако наибольшее влияние при расчетах на его величину оказывают геометрические параметры: диаметр волокна, плотность навивки, а также межвитковое расстояние.

Можно отметить, что при деформации резанием однонаправленного углепластика нормально армирующим угольным волокнам в связующем возникает концентрация деформации, которая в расчетах может быть определена через коэффициент концентрации деформации.

На основании теоретических исследований [1] выявлено, что задний угол режущего инструмента должен быть больше угла наклона касательной к деформированной поверхности заготовки. Предложена формула для расчета заднего угла инструмента.

На основании произведенных расчетов построен график зависимости заднего угла от упругих свойств обрабатываемого материала, из которого видно, что с увеличением упругих свойств материала величина заднего угла должна быть увеличена.

На основании предложенной формулы для определения заднего угла с увеличением износа инструмента увеличивается прогиб материала, соответственно возрастают усилия и работа, затрачиваемая на деформацию при резании.

Список литературы

1. Белецкий Е. Н. Обеспечение заданной точности и качества поверхности на операциях сверления антифрикционных углепластиков на основе результатов моделирования процесса резания: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.07 / Е. Н. Белецкий. — Саратов: СГТУ, 2010. — 134 с.
2. Абозин И. Ю. Некоторые вопросы механической лезвийной обработки углепластиков / И. Ю. Абозин, В. М. Петров // Вопросы материаловедения. — 2001. — № 2(26).

3. Белецкий Е. Н. Учет физико-механических характеристик композиционных углепластиков, влияющих на процессы разрушения при реализации технологического процесса механической обработки и экстремальных условий эксплуатации / Е. Н. Белецкий, С. Н. Безпальчук, В. М. Петров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 2(24).

4. Петров В. М. Модель разрушения композиционных углепластиков при обработке лезвийным инструментом: Международная научно-практической конференция «Прогрессивные технологии обработки материалов, режущий инструмент и оснастка», 18–20 декабря 2002 г./ В. М. Петров // Инструмент и технологии. — 2002. — № 9–10. — С. 23–30.

5. Капустин И. И. Режущий инструмент кожевенно-обувной промышленности / И. И. Капустин, П. И. Буров // Сборник трудов ЦНИКП. — 1950. — № 16. — С. 8–14.

6. Кузнецов В. Д. Физика твердого тела. — Т. 3. / В. Д. Кузнецов. — Томск: Красное знамя, 1944. — С. 742.

7. Томленов А. Д. Теория пластического деформирования металлов / А. Д. Томленов. — М.: Металлургия, 1972. — С. 408.

8. Тонсен Э. Механика пластических деформаций при обработке металлов / Э. Тонсен, Ч. Янг, Ш. Кобаяши. — М.: Машиностроение, 1969. — С. 504.

9. Белецкий Е. Н. Изменение физико-механических показателей композиционного углепластика разной структуры при его разрушении резанием / Е. Н. Белецкий, С. Н. Безпальчук, О. А. Иванов, В. М. Петров // Инструмент и технологии. — 2007. — № 26–27. — С. 87–91.

10. Белецкий Е. Н. Реологические модели, используемые при моделировании процессов резания антифрикционных углепластиков, применяемых в энергомашиностроении / Е. Н. Белецкий // Инструмент и технологии. — 2009. — № 32. — С. 180–185.

УДК 621.313

А. А. Марченко,
ст. преподаватель,
ФГБОУ ВПО «КамчатГТУ»;

Н. Н. Портнягин,
д-р тех. наук,
ФГБОУ ВПО «КамчатГТУ»

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ НАГРУЖЕНИЕ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ПОСЛЕРЕМОНТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

POWER EFFECTIVE LOADING OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS IN THE COURSE OF POSTREPAIR TESTS

В статье предложены методы по нагружению асинхронных электродвигателей после ремонта током и моментом. Данная методика имеет преимущества. Вместо испытаний при помощи механической нагрузки с присоединением дополнительных машин на валу испытуемого электродвигателя предлагается использовать динамические режимы машины, что позволит отказаться от механических соединений. Изменение частоты напряжения напрямую влияет на момент на валу машины и ток электродвигателя. Применяя эти свойства, можно получить значение средней мощности на валу, что является необходимым при испытании машин после ремонта. Также данная методика предполагает рекуперацию электро-

энергии в сеть. Для подтверждения заявленной методики авторы приводят результаты моделирования данного процесса. Представленные материалы наглядно подтверждают целесообразность использования пониженной частоты 25 Гц, в данном режиме получено наибольшее значение мощности на валу машины и отдаваемой в сеть мощности. Предлагается применять две схемы в зависимости от требований к энергоэффективности системы.

In article offered methods on loading of asynchronous electric motors after repair by current and the moment. This technique has advantages. Instead of tests by means of mechanical loading with connection of additional machines on a shaft of the examinee of the electric motor it is offered to use the dynamic modes of the machine, that will allow to refuse mechanical connections. Change of frequency of tension directly influences the moment on a shaft of the machine and electric motor current. Applying these properties it is possible to receive value of an average power on a shaft that is necessary at test of machines after repair. Also this technique assumes recovery of the electric power. For confirmation of the declared technique authors bring results of modeling of this process. The presented materials visually confirm expediency of use of the lowered frequency of 25 Hz, in this mode received the greatest value of power on a shaft of the machine and the power given to a network is. It is offered to apply two schemes depending on requirements to energy efficiency of system.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, нагрузка, механическая мощность, момент на валу.
Key words: the asynchronous electric motor, loading, mechanical power, the moment on a shaft.

ЧИСЛО электродвигателей, подвергающееся ремонту, намного выше числа электродвигателей, выпускаемых промышленностью. В то же время характеристики электродвигателей, подвергающихся ремонту, существенно отличаются от характеристик новых машин и являются усредненными [1].

Технический уровень ремонтных предприятий значительно ниже заводов изготовителей. Это приводит к тому, что даже после проведения обязательных испытательных мероприятий повторный выход из строя отремонтированной машины является нередким явлением. Значительно уменьшить число отказов электродвигателей во время эксплуатации после ремонта возможно только улучшив проверку качества проведения ремонт [2].

На сегодняшний день существуют различные способы проверки электрических машин после ремонта, рекомендованные для использования с целью упрощения процесса диагностирования технического состояния.

На практике нашли широкое применение специализированные станции для испытаний электрических машин. При широком спектре ремонтируемого оборудования необходим сложный парк испытательного оборудования, реализовать который в условиях ремонтных цехов судоремонтных предприятий практически невозможно. Универсальное оборудование, пригодное для полнообъемных испытаний машин малой и большой мощностей, отсутствует.

Сложность технического осуществления поточного диагностирования очевидная, так как каждая электрическая машины должна проходить необходимый спектр испытательных режимов, на основании которых возможно получение полной картины по диагностированию параметров.

В настоящее время на судоремонтных предприятиях получила распространение упрощенная процедура испытаний электродвигателей, которая состоит из следующих этапов:

- 1) измерение сопротивления обмоток;
- 2) испытание изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками;
- 3) обкатка двигателя на холостом ходу [3].

Обкатка занимает незначительный промежуток времени лишь для того, чтобы убедиться, что ток холостого хода находится на приемлемом уровне, и в работе АД нет явных дефектов (заклинивание подшипников, цепляние ротора о пакет статора и т.п.). Данный регламент проведения испытаний направлен на снижение состава оборудования испытательных станций. С другой стороны, снижение качества проверки напрямую влияет на количество отказов электродвигателей после ремонта.

Пригодность электрической машины для использования в условиях эксплуатации может быть определена только после производства испытаний в полном объеме, в том числе испытаний под токовой и механической нагрузкой. Под термином «нагружение электрической машины» (электрического двигателя) предполагается искусственное нагружение токами или моментом с целью получения информации о качественных характеристиках отремонтированных машин.

После завершения ремонта предприятие гарантирует безаварийную работу. В случае повторной неисправности гарантийное обслуживание становится возможным после завершения рейса. Выход из строя ответственного электропривода может привести к существенному ухудшению результатов рейса, а иногда и невозможности дальнейшего продолжения промысла. Судовладельцы напрямую заинтересованы в улучшении качества ремонта электрооборудования и требуют его выполнения от предприятий. Нередки случаи, когда групповые инженеры-электромеханики требуют проведения испытаний, по длительности превышающих общепринятые в несколько раз. Все это указывает на необходимость модернизации процесса испытаний электрооборудования, в частности испытаний электрических машин.

В рамках исследования предлагается испытывать АД под токовой и механической нагрузкой путем введения машины в циклический динамический режим [3]. В данной статье рассматривается метод изменения частоты вращения АД при помощи резкого изменения частоты питающего напряжения. Данный метод нагружения имеет преимущества перед методом противовключения, когда частота вращения АД и механический момент на валу циклически изменяются при изменении чередования фаз АД с применением бездуговой коммутации и методом непосредственной нагрузки, когда механический момент на валу АД создается естественным путем с использованием спарки двух электрических машин.

Схема предлагаемого нагрузочного устройства представлена на рис. 1. На рис. 2а представлена механическая характеристика АД в режиме нагружения, где f_1 — естественная механическая характеристика, которой соответствует номинальная частота сети 50 Гц; f_2 — искусственная характеристика, полученная при понижении частоты питающего электродвигатель напряжения.

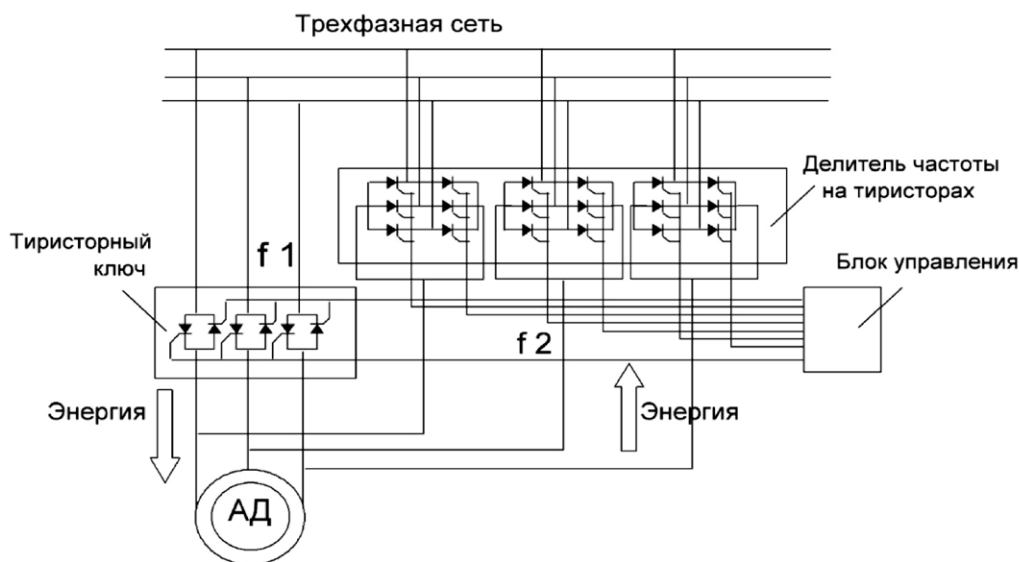


Рис. 1. Схема нагрузочного устройства

Устройство работает следующим образом. В первый момент времени асинхронный электродвигатель АД подключается к сети f_1 с частотой 50 Гц и работает на участке ab механической характеристики, представленной на рис. 2а, при этом открыт тиристорный ключ, в результате чего асинхронный электродвигатель вращается с номинальной частотой. Далее асинхронный электродвигатель отключается от сети и подключается к делителю частоты на тиристорах, который обе-

спечивает выходной сигнал f_2 с частотой 25 Гц, при этом тиристорный ключ закрывается. Рабочая точка на рис. 2а электродвигателя переходит в точку с искусственной механической характеристикой. Применение делителя частоты позволит значительно упростить систему, так как позволит избежать применения многофункциональных промышленных частотных преобразователей. Управление тиристорным переключателем и делителем осуществляется при помощи блока управления, оснащенного микроконтроллером. Асинхронный электродвигатель 1 снижает обороты путем рекуперативного торможения с отдачей электроэнергии в сеть, в результате чего достигается эффект экономии затраченной электроэнергии. На рис. 2а этому режиму соответствует отрезок bc искусственной характеристики f_2 . После установления номинальной частоты вращения асинхронный электродвигатель 1 снова подключается к сети f_1 . При циклическом переключении f_1 и f_2 возникающий механический момент позволяет создать эквивалент механической нагрузки без применения дополнительных устройств.

Делитель частоты состоит из трех комплектов тириستоров $VS1-VS3$. Принцип работы делителя частоты подробно представлен на рис. 2. Деление частоты в два раза в каждой фазе обеспечивается поочередным отпиранием тириستоров.

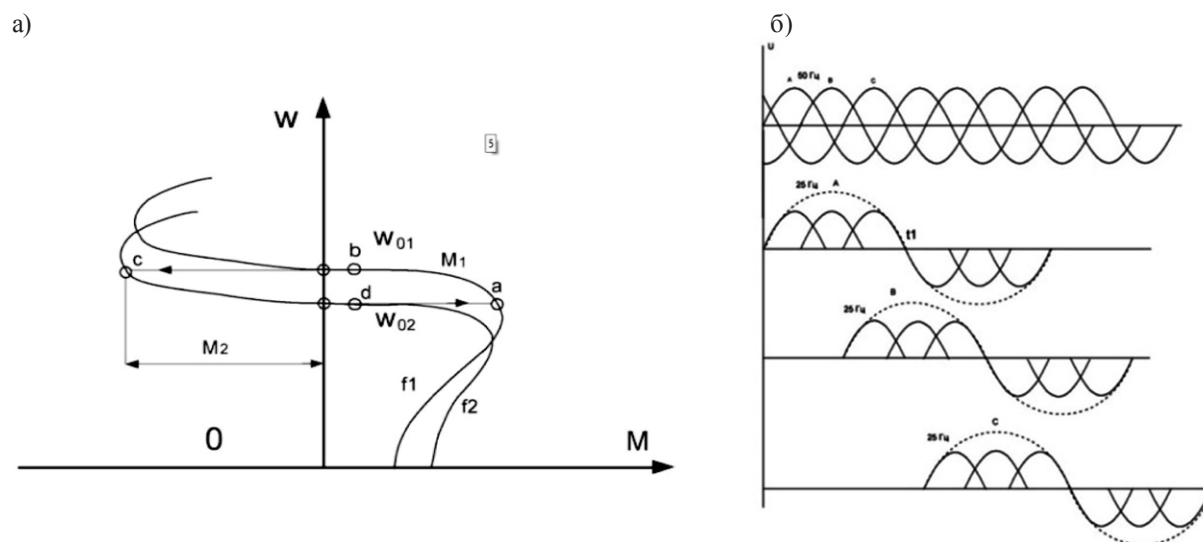


Рис. 2. Принцип работы делителя частоты:

a — механическая характеристика двигателя; b — выходное напряжение делителя

Первоначально открытые тиристоры $VS1$ пропускают ток только в прямом направлении. В момент времени t_1 оказываются открытыми тиристоры $VS1$, пропускающие ток в обратном направлении. Так формируется напряжение частотой 25 герц в фазе А электродвигателя. Происходит отпирание тириستоров $VS2$ с начальной фазой напряжения $\varphi_2 = 240^\circ$ и формируется напряжение фазы В электродвигателя. Аналогично происходит формирование кривой напряжения фазы С электродвигателя поочередным отпиранием $VS3$ с начальной фазой $\varphi_3 = 480^\circ$. Далее цикл повторяется со сдвигом 240° , тем самым обеспечивается сдвиг фазы 120° для напряжения частотой 25 герц, в два раза меньшей заданной первоначально частоты.

На рис. 3 и 4 представлены результаты моделирования представленной системы в Sym Power systems [5]. Эксперимент проводился в пределах одного переключения. Первоначально было определено время переходного процесса, т. е. время, за которое электродвигатель набирает заданную частотой сети скорость. На рис. 3а представлен график скорости машины. По оси абсцисс отложено время, измеренное в секундах. По оси ординат отложена частота вращения машины, измеренная в рад./с. Видно, что режим рекуперативного торможения [6] протекает от 0,25 с до 0,37 с. В этом режиме значительная часть запасенной электрической энергии отдается в сеть. На рис. 3б изображен момент электродвигателя, процесс торможения сопровождается отрицательными значениями момента на участке от 0,25 с до 0,35 с. Созданный на валу электромагнитный момент в режиме рекуперативного

торможения является эквивалентом нагрузочного момента. Для определения средней эквивалентной мощности [7] на валу машины производилось интегрирование механического момента на отрезке времени от 0,25 до 0,5, что соответствует времени процесса нагружения.

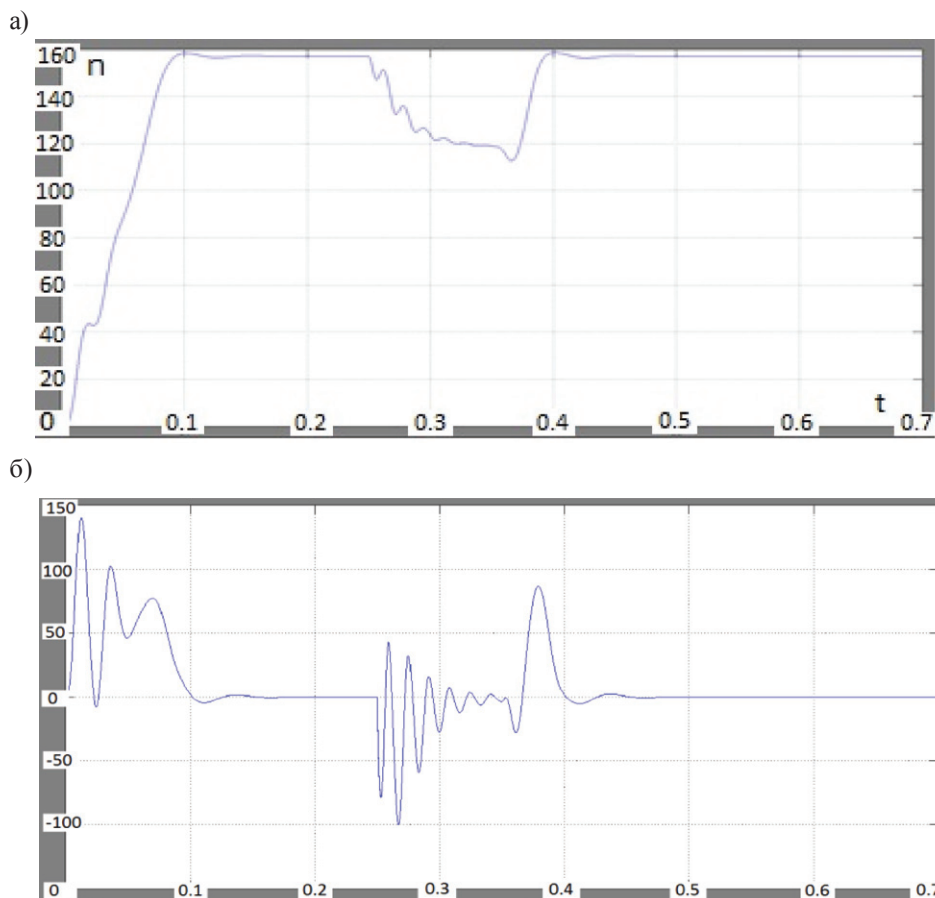


Рис. 3. Результаты моделирования:

a — скорость электродвигателя в режиме нагружения;
б — момент на валу электродвигателя в режиме нагружения

Полученное значение средней механической мощности на валу в процессе интегрирования представлено на рис. 4. По оси абсцисс отложено время испытания, измеряемое в секундах. По оси ординат — средняя мощность на валу в процессе интегрирования. Нужно отметить, что интегрирование производилось без учета знака момента, так как знакопеременное значение момента на валу является полезным для нагружения АД в любом случае.

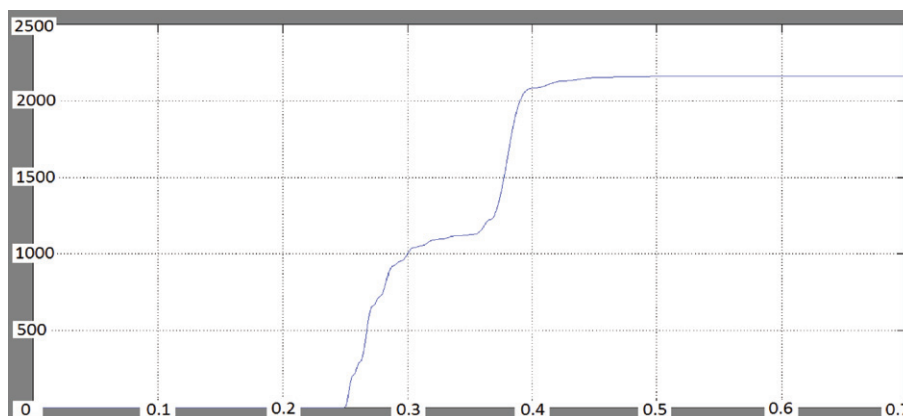


Рис. 4. Мощность на валу электродвигателя

При резком понижении частот питающего напряжения с 50 Гц до 25 Гц мощность на валу машины достигает порядка 58%, что является достаточно хорошим показателем. Другими словами, достигается значительное увеличение нагрузочной мощности на валу электродвигателя.

Одним из преимуществ предлагаемой системы является рекуперация электроэнергии в сеть при торможении асинхронного двигателя [8]. Для уменьшения гармонических составляющих, а также для удовлетворения требований магнитной совместимости электрооборудования применяются LC-фильтры. Для оценки отдаваемой мощности в рамках эксперимента на компьютерной модели производился расчет с учетом знака момента. Такой подход позволил выявить полезную мощность, затраченную на вращение. Результаты представлены на рис. 5.

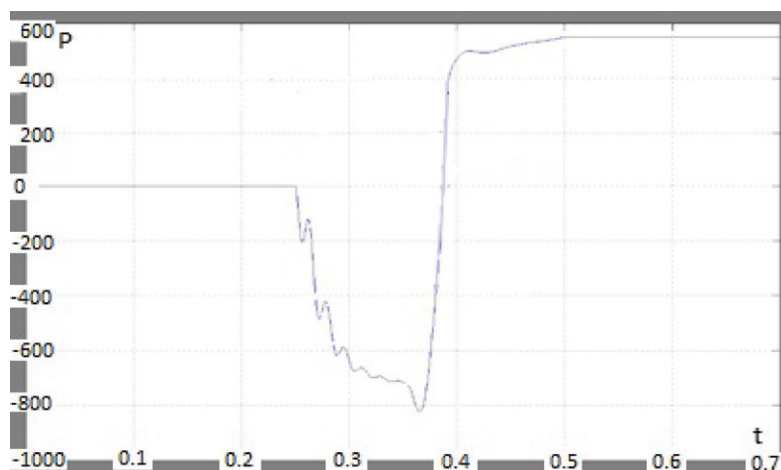


Рис. 5. Мощность электродвигателя, затраченная на вращение и нагрев

Как видно из диаграммы, мощность, затраченная на вращение АД, составляет порядка 600 Вт из полученных 2200 Вт в качестве эквивалентной нагрузки. В процентном соотношении 27% идет на разгон и нагрев машины. Остальные 70% мощности возвращаются в процессе рекуперативного торможения на отрезке времени от 0,25 до 0,37 с.

В рамках эксперимента проводились испытания электродвигателей различной мощности. Результаты проведения испытаний с использованием искусственной нагрузки представлены на рис. 6. Видно, что показания создаваемой механической мощности на валу различных по мощности электродвигателей стабильны и отличаются незначительно.

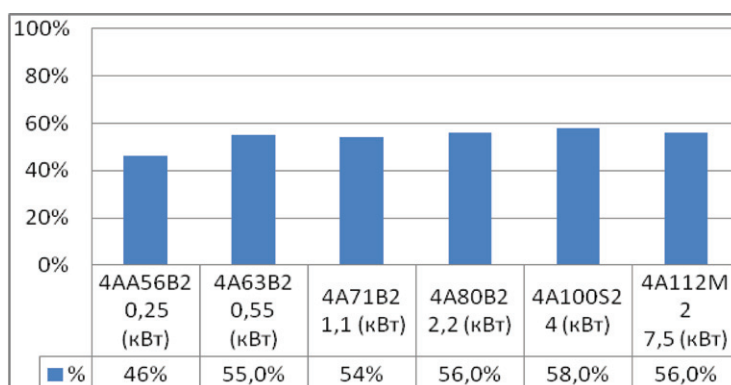


Рис. 6. Результаты моделирования

Рекуперация электрической энергии в цепь переменного тока может оказаться проблематичной, так как тяжело обеспечить необходимое совпадение напряжений сети и машины по фазе [9]. Применение LC-фильтров связано с некоторыми потерями и снижением энергосбережения.

В тех случаях, где рекуперация является желательным процессом, возможно применение схемы, представленной на рис. 7. Данное схемное решение предусматривает отдачу электроэнергии не напрямую в сеть, а накопление ее в цепи постоянного тока. Осуществить переход к постоянному току возможно при помощи выпрямителя. Накапливать энергию можно в аккумуляторе (для дальнейшего использования) или в конденсаторе для немедленного использования в цепи постоянного тока предлагаемой системы.

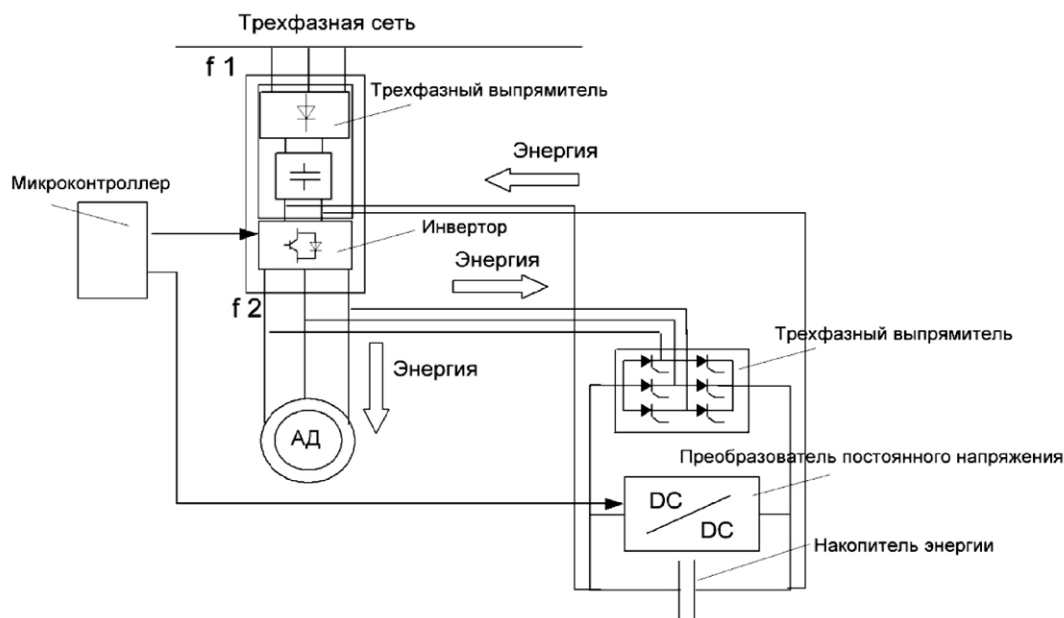


Рис. 7. Схема нагрузочного устройства с циркуляцией электрической энергии

Частотный преобразователь со звеном постоянного тока включает трехфазный выпрямитель и инвертор для преобразования постоянного тока в переменный трехфазный с заданной частотой. Для накопления энергии постоянного тока используется конденсатор для стабилизации напряжения применяется преобразователь постоянного напряжения. При помощи выпрямителя 5 происходит преобразование тока. Управление преобразователем и инвертором осуществляется при помощи микроконтроллера.

Схема работает следующим образом. На частотный преобразователь подается трехфазное напряжение с частотой 50 Гц. Далее при помощи управляемого инвертора и микроконтроллера происходит резкое понижение частоты. Электродвигатель АД переходит в режим рекуперативного торможения с отдачей электрической энергии в сеть. При помощи микроконтроллера и преобразователя постоянного напряжения поддерживается напряжение заряда конденсатора через трехфазный выпрямитель. В целях динамического нагружения машины при помощи изменения управляющего сигнала микроконтроллера на инвертор частота напряжения изменяется до номинального значения. После разгона электродвигателя данный цикл повторяется. Конденсатор разряжается на звено постоянного тока преобразователя частоты в момент разгона машины и подпитывает ее запасенной в момент рекуперации энергией, тем самым осуществляет экономию электроэнергии.

Из проведенных испытаний АД с использованием искусственного нагружения можно сделать следующие выводы:

1. Упрощенный объем послеремонтных испытаний АД осуществляется на специальных станциях, не соответствующих требованиям современного рыбопромыслового флота в области качества ремонта и энергосбережения. Необходима разработка новых методов испытаний электродвигателей с применением полупроводниковых и микропроцессорных устройств.

2. Предлагаемый в статье метод позволит выйти за пределы упрощенного метода испытаний и использовать проверку АД после ремонта под «искусственной» нагрузкой.

3. Применение полупроводниковых делителей частоты, позволяющих использовать кратность частот напряжения ровно в два раза, значительно упростит конструкцию в тех случаях, где необходима экономия электроэнергии в пределах цеха.

4. В ходе проведения экспериментов была выявлена рекуперация электроэнергии в сеть [10]. В среднем значение отдаваемой мощности соответствует значению 70% от мощности нагрузки.

5. Для улучшения процесса рекуперации возможен перевод в постоянный ток при помощи неуправляемого выпрямителя и конденсатора для накопления энергии. Данное решение позволяет повысить энергоэффективность, так как устройство не предполагает отдачу электроэнергии в сеть, а ее циркуляцию в пределах схемы.

В результате вышесказанного можно говорить о возможности испытания электрических машин под нагрузкой без использования сложных нагрузочных механических устройств.

Список литературы

1. Жерве Г. К. Промышленные испытания электрических машин. — 4-е изд./ Г. К. Жерве. — Л.: Энергоатомиздат, 1984. — С. 351–354.
2. Голдберг О. Д. Испытание электрических машин: учеб. для вузов. — 2-е изд. / О. Д. Голдберг. — М.: Высш.шк., 2000. — С. 164–166.
3. Котеленец Н. Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин: учебник для вузов / Н. Ф. Котеленец. — М.: Издательский центр «Академия», 2003. — С. 99–103.
4. Портнягин Н. Н. Разработка методов технического диагностирования асинхронного двигателя / Н. Н. Портнягин, А. А. Марченко, А. А. Ушакевич // Вестник КамчатГТУ. — Петропавловск-Камчатский, 2011. — Вып. 18. — С. 29–32.
5. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0 : учебное пособие / С. Г. Герман-Галкин. — СПб.: КОРОНА принт, 2001. — С. 233–239.
6. Вольдек А. И. Электрические машины: учеб. для высш. техн. заведений. — 3-е изд. / А. И. Вольдек. — Л.: Энергия, 1978. — С. 510–514.
7. Марченко А. А. Моделирование процесса динамического нагружения асинхронного электродвигателя / А. А. Марченко, Н. Н. Портнягин // Соврем. проблемы науки и образования. — 2012. — № 6. — С. 125–125.
8. Марченко А. А. Исследование процесса динамического нагружения асинхронного электродвигателя / А. А. Марченко, Н. Н. Портнягин // Фундам. исслед. — 2013. — № 1–2. — С. 408–412.
9. Марченко А. А. Определение диапазона номинальной мощности электродвигателей при испытаниях методом динамического нагружения / А. А. Марченко // Электротехнические и информационные комплексы и системы. — 2014. — № 2 — Т. 10. — С. 38–44.
10. Марченко А. А. Процесс получения максимальной механической мощности на валу электродвигателя при испытаниях электрических машин // Наука, образование, инновации: пути развития : материалы 4-й Всерос. науч.-практ. конф. (23–25 апр. 2013 г.) / А. А. Марченко. — Петропавловск-Камчатский. — 2013. — Ч. 1. — С. 128–130.

**МЕТОДИКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ
ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ГИЛЬЗАМИ,
ИМЕЮЩИМИ АНТИКАВИТАЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ**

**METHOD OF EXPLOITATIVE TESTS WITH DIESEL ENGINES
AND SLEEVES HAVING ANTI-CAVITATION COATING**

Проведены стендовые испытания дизельных двигателей с гильзами, имеющими на наружной поверхности антикавитационные покрытия. Двигатели, подвергнутые испытанию, использовались на различных судах в условиях обычной эксплуатации. На гильзы цилиндров дизельных двигателей наносились специальные антикавитационные покрытия из специальной бронзовой проволоки методом электроискровой обработки. Для сравнения на гильзы цилиндров также наносилось медное покрытие холодным газодинамическим напылением. Дизельные двигатели, подвергнутые капитальному ремонту, прошли испытания на специальных обкаточно-тормозных устройствах. При испытании дизеля были снабжены необходимым обслуживающим оборудованием. В дизелях вместо воздухоочистителя, системы выпуска отработанных газов и радиатора системы охлаждения применяли соответствующие устройства, предусмотренные на испытательном стенде. Каждый двигатель испытывался в течение 20 часов циклами по 4 часа. После окончания испытаний изучали крутящий момент и часовой расход топлива. Выведена формула для определения остаточного ресурса двигателя.

Stand tests of diesel engines have been carried out with sleeves having anti-cavitation coating on the outside surface. The engines exposed to test were used on different vessels in the situations of usual exploitation. Special anti-cavitation coating of special bronze wire were laid on sleeves of the cylinder of diesel engines by the method of electrospark machining. For comparison copper coating were also laid on sleeves of the cylinder by the method of gas-dynamic spattering. Diesel engines exposed to basic repair passed tests on special rolling breaking devices. During testing diesels were provided with necessary service equipment. For the diesels instead of air clearer systems of release of outgoing gases and heat radiator of the system of cooling were applied appropriate devices foreseen on stand test.

Each engine was tested during 20 hours' period with the cycles for 4 hours. At the end of the test hourlong rotation torque and fuel consumption in an hour were studied. A formula has been found out for identifying the remaining resource of engine.

Ключевые слова: эксплуатационные испытания, двигатель, крутящий момент, антикавитационные покрытия, диагностика, расход топлива.

Key words: exploitative test, engine, torque consumption, anti-cavitation coating, diagnostics, fuel consumption.

Введение

Основным критерием оценки гильз судовых двигателей, имеющих на наружной поверхности антикавитационные покрытия, может служить эксплуатационное испытание двигателей на специальных стендах. При этом гильзы имели два вида покрытия: бронзовое, полученное электроискровой обработкой их поверхности бронзовой проволокой, и медное, нанесенное на поверхность гильзы холодным газодинамическим напылением медьсодержащего порошка.

Испытаниям подвергались двигатели, прошедшие капитальный ремонт, поскольку только такие двигатели могут дать более точную оценку качества антикавитационных покрытий.

Обсуждение методики экспериментов

Для проверки результатов лабораторных исследований были проведены стендовые испытания ранее проведенных дизельных двигателей с гильзами, имеющими на наружной поверхности антикавитационные покрытия, выполненные в зоне максимальных кавитационных разрушений.

Дизельные двигатели, прошедшие капитальный ремонт, испытывали на обкаточно-тормозных стендах [1]–[3]. На пяти двигателях первой группы были установлены экспериментальные гильзы цилиндров. Пять двигателей второй группы комплектовались серийными гильзами. Дизеля во время испытаний были укомплектованы необходимым обслуживающим оборудованием. Вместо воздухоочистителя системы выпуска отработавших газов и радиатора системы охлаждения использовали соответствующие устройства испытательного стенда. Топливный насос был отрегулирован согласно техническим условиям, и впоследствии его регулировка не изменилась в течение всего периода испытаний.

Перед испытанием двигатели проходили технологическую обкатку. Двигатели во время испытаний заправляли летним дизельным топливом плотностью $830 \pm 10 \text{ кг/м}^3$; температура охлаждающей жидкости и картерного масла составляла $85\text{--}95^\circ\text{C}$.

Каждый двигатель испытывался в течение 20 часов циклами по 4 часа. Продолжительность остановки и охлаждения двигателя между циклами составляла 10 минут. Режим работы двигателя в течение цикла:

1. Работа без нагрузки с частотой вращения коленчатого вала $n = 1850\text{--}1950 \text{ мин}^{-1}$ – 10 минут.
2. Работа с нагрузкой 125 кВт с частотой вращения коленчатого вала $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ – 10 минут.
3. Работа с нагрузкой 125 кВт с частотой вращения коленчатого вала $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ – 210 минут.
4. Работа без нагрузки с частотой вращения коленчатого вала $n = 1850\text{--}1950 \text{ мин}^{-1}$ – 10 минут.

После окончания испытаний определяли крутящий момент и часовой расход топлива при различной частоте вращения коленчатого вала с целью построения регуляторной характеристики. Крутящий момент определяли по показаниям весового механизма стенда, а часовой расход топлива — с помощью прибора АИР-50.

Для выполнения поставленных задач определялось необходимое количество экспериментальных гильз цилиндров для эксплуатационных испытаний.

Известно[1], [2], [4], что распределение случайной величины износа подчиняется нормальному закону. Поэтому определение наименьшего числа объектов исследований при неизвестной генеральной совокупности и дисперсии производится по формуле

$$N = \left(\frac{t_{\beta} \cdot V}{E_{\beta}} \right)^2, \quad (1)$$

где t_{β} — параметр распределения Стьюдента при доверительной вероятности; V — коэффициент вариации; E_{β} — относительная ошибка среднего значения случайной величины.

Для определения числа объектов испытаний согласно [1], [2], [5] задаются надежность и точность определения этой величины. Принимаем коэффициент вариации $V = 0,32$, коэффициент надежности (доверительная вероятность) $\beta = 90\%$, относительную ошибку случайных величин $E = 0,08$.

Так как параметр t_{α} зависит от объема выборки, то для определения количества объектов N использовали литературные табличные данные и рассчитывали по формуле

$$\frac{t_{\alpha}}{N} = \frac{E_{\alpha}}{V}. \quad (2)$$

Согласно принятым E_{α} и V соотношение $\alpha = 0,9$, при котором $N = 26$.

Таким образом, для проведения эксплуатационных испытаний количество экспериментальных гильз равно 26. Испытывались 5 двигателей с 8 экспериментальными гильзами в каждом и 5 двигателей, укомплектованных серийными гильзами двигателей.

Экспериментальные двигатели использовались на различных судах в условиях рядовой эксплуатации. Перед сборкой выполнялся микрометрический гильз цилиндров и поршневых колец. Микрометрический гильз цилиндров выполнялся с помощью нутрометра НИ100-160, оснащенного индикатором 1 МИГП с точностью измерения 1 мкм. Все измерения проводились при постоянной температуре с трехкратной повторяемостью [6].

После сборки двигатели проходили обкатку.

В период проведения работ выполнялось диагностирование технического состояния деталей цилиндропоршневой группы по количеству газов, прорвавшихся в картер. Измерения проводили индикатором расхода газов КИ-13671 при температуре охлаждающей жидкости 65–100 °С, герметичной системе вентиляции картера и номинальной частоте вращения вала дизеля $N = 1700$ об./мин.

Испытания проводились по плану NUT(ГОСТ 27.002-83), по которому одновременно испытывают N объектов. Отказавшие во время испытаний объекты не восстанавливают и не заменяют, испытания прекращают по истечению времени T для каждого не отказавшего объекта.

Эффективную мощность рассчитывали по формуле

$$N_e = \frac{M_k n}{9550}, \quad (3)$$

где N_e — эффективная мощность, кВт; M_k — крутящий момент, Н·м; n — частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹.

Удельный расход топлива определяется по формуле

$$g_y = \frac{1000 G_T}{N_e}, \quad (4)$$

где g_y — удельный расход топлива, г/кВт·ч; G_T — часовой расход топлива, кг/ч.

Износ гильз определяется с учетом [6], а замеры выбросов вредных веществ дизелей производилась согласно [7].

Обработку экспериментальных данных проводили с использованием компьютера с помощью MS Excel 2000.

Пробег судов, оснащенных экспериментальными двигателями, за время испытаний составил 55 000–75 000 км. Контроль состояния деталей цилиндропоршневой группы осуществляется методами безразборного диагностирования во время проведения работ СТО. По результатам диагностирования определялся остаточный ресурс двигателя.

В качестве параметра, характеризующего состояние сопряжения, был выбран расход картерных газов [8], [9].

Остаточный ресурс сопряжения определяли по формуле

$$T_{\text{ост}} = T_{\text{тек}} \left(\left(\frac{S_{\text{пр}} - S_{\text{нач}}}{S_{\text{тек}} - S_{\text{нач}}} \right)^{1/\alpha} - 1 \right), \quad (5)$$

где $T_{\text{ост}}$ — остаточный ресурс, ч; $T_{\text{тек}}$ — наработка двигателя, ч; $S_{\text{пр}}$, $S_{\text{нач}}$, $S_{\text{тек}}$ — предельное и текущее значения выбросов картерных газов, л/мин; α — показатель степени, характеризующий скорость изменения параметра (до замены поршневых колец $\alpha = 1,3$).

Количество газов, прорвавшихся в картер при номинальной частоте вращения холостого хода: $S_{\text{пр}} = 135$ л/мин, $S_{\text{нач}} = 50$ л/мин.

Полученный по результатам диагностирования расчетный остаточный ресурс двигателей, укомплектованных экспериментальными и серийными гильзами, приведен в табл. 1, 2.

Таблица 1

Результаты эксплуатационных испытаний дизелей с серийными гильзами

№ группы и двигателя	Серийные двигатели					
	Прорыв газов, л/мин			Остаточный ресурс, ч		
	20 000 км	30 000 км	40 000 км	20 000 км	30 000 км	40 000 км
1-1	75	100	120	37582	24225	12150
1-2	80	103	121	29516	21056	11200
1-3	71	100	120	46430	24225	12150
1-4	75	102	124	37582	22076	8485
1-5	76	102	120	35750	22076	12150
Среднее значение	75,4	101,4	121	36833	22705	11227

Таблица 2

Результаты эксплуатационных испытаний дизелей с экспериментальными гильзами

№ группы и двигателя	Экспериментальные двигатели					
	Прорыв газов, л/мин			Остаточный ресурс, ч		
	20 000 км	30 000 км	40 000 км	20 000 км	30 000 км	40 000 км
2-1	70	91	121	48231	38743	11200
2-2	67	92	119	58012	32879	13125
2-3	68	90	116	54102	40201	16205
2-4	72	90	117	47329	40201	15151
2-5	70	91	118	48231	38743	14125
Среднее значение	69,4	90,8	118,2	51181	38152	13961

За время проведения эксплуатационных испытаний отказов цилиндропоршневой группы не наблюдалось.

Эксплуатационные испытания подтверждают выводы по исследованию гильз с дополнительно нанесенными антикавитационными покрытиями на УЗВ: повышение расчетного ресурса составило 19,6 % по сравнению с серийными двигателями.

Выводы

1. Проведенные эксплуатационные испытания показали повышение ресурса работы дизельных двигателей, оснащенных гильзами с антикавитационными покрытиями, по сравнению с серийными приблизительно 20 %.

2. В качестве параметра, характеризующего состояние сопряжения цилиндропоршневой группы, был выбран расход картерных газов. Исходя из этого выведена формула для определения остаточного ресурса дизеля.

3. Определено количество газов, прорвавшихся в картер при нормальной частоте вращения холостого хода.

Список литературы

1. Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве. — М.: ГОСНИТИ, 1985. — 108 с.
2. Кучель Р. Б. Методика выбора количества изделий для ресурсных испытаний и оценки достоверности их результатов / Р. Б. Кучель, Ю. Н. Благовещенский — М.: НАТИ, 1992. — 160 с.
3. Рыбакова Л. М. Структура и износ покрытий при финишной антифрикционной обработке гильз цилиндров ДВС / Л. М. Рыбакова // Трение и износ. — 1994. — № 25. — С. 909–921.
4. Григорьев М. А. Износ и долговечность автотракторных двигателей / М. А. Григорьев. — М.: Машиностроение, 1996. — 248 с.
5. Волков К. Н. Прогнозирование надежности механических систем / К. Н. Волков — Л.: Машиностроение, 1989. — 208 с.
6. ГОСТ 8.051-81. «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм».
7. ГОСТ 12.2.2.02.98 «Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы измерения выбросов вредных веществ с отработавшими газами транспортных и комбайновых дизелей».
8. Головатенко А. Г. Повышение экологичности и экономичности автотракторных двигателей / А. Г. Головатенко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2004 — № 9. — С. 16–18.
9. Колчин А. В. Экологическая безопасность эксплуатации МТП / А. В. Колчин. — М.: ГОСНИТИ, 1991. — 65 с.

УДК 629.5.022

М. А. Москаленко,

д-р техн. наук, профессор,
Морская академия Морского государственного
университета им. адм. Г. И. Невельского;

З. М. Субботин,

аспирант,
Морская академия Морского государственного
университета им. адм. Г. И. Невельского;

Л. В. Захарина,

доцент,
Сахалинское высшее мореходное училище
им. Т. Б. Гуженко — филиал Морского государственного
университета им. адм. Г. И. Невельского

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ КОРПУСА МОРСКИХ СУДОВ МАЛОЙ ТОННАЖНОЙ ГРУППЫ

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVE FEASIBILITY MODERNIZATION OF HULL MARINE VESSELS OF SMALL TONNAGE

В статье представлены результаты оценки возможности и целесообразности модернизации корпуса морских судов малой тоннажной группы (МТГ). Изложены предпосылки их размерной модернизации. Отмечается, что такие суда сегодня являются наиболее востребованными и широко используются в трамповом судоходстве. Выявлено существование проблемы, связанной с необходимостью повышения эксплуатационной эффективности работы возрастных судов. Повышение их конкурентноспособности представляется возможным обеспечить через осуществление одномерной модернизации их корпуса.

Изложены результаты разработки моделей для размерной модернизации. Ходовые характеристики модернизированных судов определялись экспериментально на масштабных моделях с разными значениями отношений длины к ширине испытываемых судов. На основании анализа результатов опытных проверок был установлен оптимальный размер цилиндрической вставки. Результаты морфологического анализа судов «до» и «после» модернизации свидетельствуют о том, что комплексные показатели эффективности судов после модернизации увеличиваются за счет качественного фактора.

The article products the results assessment of possibility and feasibility of hull marine vessels of small tonnage. Preconditions of their dimensions modernization are stated. It is noted that such ships are greatly required and widely used in tramp shipping. The existence of the problem, connected with the need to increase operation effectiveness of the old ships, has been revealed. It seems possible to raise their competitiveness through carrying out single-measured modernization of the hull of those ships.

The results of the development of the models of measured modernization are sit out the models of measured modernization are sit out. Running characteristics of the modernized ships were determined experimentally on the scale models with various meanings of tested ships length and width ratio. The optimal dimension of a cylindrical insert was established on the basis of test results analysis. The result of morphological analysis of the ships before and after modernization testifies to the fact that complex indices of ships effectiveness after modernization are increasing on account of the qualitative factor.

Ключевые слова: морские суда, тоннаж, размерная модернизация, испытания моделей судов.

Key words: marine vessels, tonnage, dimensional modernization, testing of ships models.

В СВЯЗИ с необходимостью становления и развития в России малого бизнеса в судоходстве [7], сейчас особую значимость приобретают исследования в области решения проблемы повышения конкурентно способности отечественного флота в сегменте универсальных сухогрузных судов дедвейтом 2–5 тыс. т. Суда такой грузоподъемности относятся к судам малой тоннажной группы (МТГ). Они являются наиболее востребованными и широко используются в трамповом судоходстве, где фрахтовые ставки сравнительно невелики. Это не способствует обновлению флота МТГ за счет инвестиций собственных средств в строительство новых судов. Поэтому в сложившейся ситуации судовладельцы малых судоходных компаний вынуждены искать пути продления срока службы судов и увеличения их провозной способности за счет их размерной модернизации, представляющей особый вид модернизации судов, когда по существу создается новое судно за меньшие деньги. Оно отличается от первоначального по размерам, мореходным качествам и технико-эксплуатационным показателям. За последние три десятилетия в нашей стране и за рубежом (больше всего в Китае) все в больших масштабах выполняются работы по модернизации с изменением их главных размерений [6], [7], [10]. Разрабатываются новые технологии, расширяется диапазон типов и размеров судов. Однако, несмотря на широкое распространение в мире идеологии модернизации для обновления флота, вопросы размерной модернизации судов нашли практическое решение раньше, чем оно было получено в результате теоретических исследований. В значительной степени теоретическая база размерной модернизации отстает от практики эксплуатации судов и сегодня, особенно в части техно-экономического анализа, оценки целесообразности и эффективности выполнения этих работ [1]–[4].

С учетом изложенного выше, нами выполнены комплексные исследования существующей проблемы в части модернизации судов МТГ, касающейся обоснований эффективности. В результате было установлено, что среди многочисленных случаев модернизации судов можно выделить наиболее распространенные технологические направления:

- увеличение размерений судна путем замены части его корпуса более крупной;
- увеличение главных размерений судна с помощью вставок и наделок с использованием всего старого корпуса;
- создание многокорпусных судов из однокорпусных.

Сопоставительный анализ показал, что наиболее предпочтительным можно считать второе направление, включающее в качестве основного варианта одномерное увеличение размеров кор-

пуска за счет **удлинения**. Величина удлинения судна зависит от многих факторов и прежде всего от конкретной цели модернизации, состояния корпуса, технологической возможности верфи [8], [9].

Чаще всего основная цель удлинения судна — это увеличение его грузоподъемности и грузоместимости, в таких случаях длина цилиндрической вставки (блока) обычно равна длине 1–2 трюмов [4]–[6]. Иногда суда удлиняются с целью улучшения пропульсивных качеств. В этом случае размер их удлинения определяется на основе расчетов и экспериментов в опытовых водоемах.

Нами были проведены экспериментальные исследования ходкости масштабных моделей типового судна МТГ из линейки серийных судов типа т/х «Советский Воин» (рис. 1).

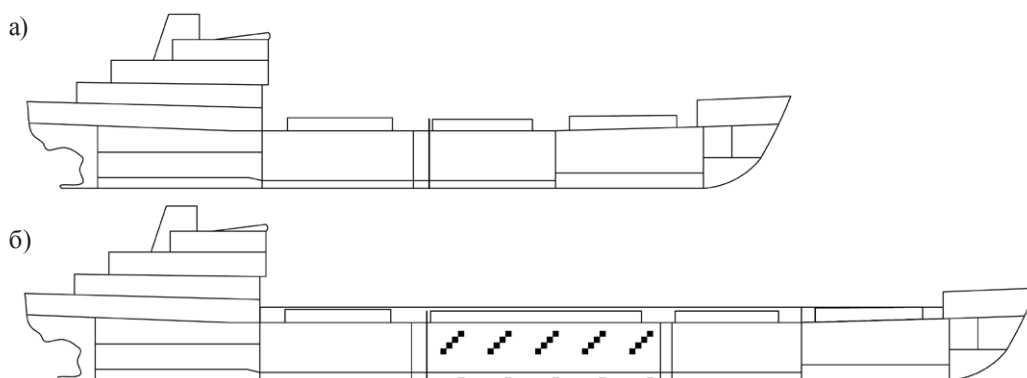


Рис. 1. Типовое судно МТГ:
а — до модернизации; б — после модернизации

Выбор типового судна для выполнения модернизации не был случайным. В рассматриваемом нами случае технико-экономическая целесообразность проведения размерной модернизации подтверждалась существующими у этого судна резервами мощности силовой установки, наличием соответствующей грузовой базы и положительным опытом модернизации судов таких тоннажных групп. С целью выяснения характера и степени влияния удлинения судна на некоторые эксплуатационно-технические показатели (см. табл. 1) исследовались модели судов с цилиндрическими вставками длиной: 5,0 м; 15,0 м; 23,5 м и 30,0 м (рис. 2, 3). На основании анализа результатов экспериментов (рис. 4) и выполненных расчетов, приведенных в табл. 1, была дана оценка качественных и количественных показателей судов до и после модернизации.

Таблица 1

Главные размерения и характеристики судов до и после модернизации

Обозначения характеристик	Судно до модернизации	Длина цилиндрической вставки, м			
		5,0	15,0	23,5	30,0
L_1 , м	75,0	80,0	90,0	98,5	105,0
B , м	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
L/D	12,4	13,3	12,8	14,0	14,0
d , м	5,43	5,5	5,5	5,5	5,5
D , м	6,03	6,03	7,03	7,03	7,5
B/d	2,31	2,28	2,28	2,28	2,28
Δ	3780/3525	3920	4291	4905	5960
Δ_0	1295	1325	1365	1405	1435
DW	2485/2230	2595	2926	3500	4515
M , т	2130	2495	3405	3622	4315

Таблица 1
(Окончание)

Ne, кВт	890	970	900	1060	1010
n	0,255	0,247	0,210	0,216	0,169
v_s , уз.	10(13,1)	10	10	10	10
Fr	0,249	0,239	0,228	0,218	0,211
δ	0,671	0,695	0,677	0,706	0,805
η_{DW}	0,633	0,662	0,682	0,714	0,758
η_P	0,604	0,636	0,657	0,677	0,724
W , м ³	2870/2980	3256/3382	3775/3923	4284/4458	4681/4866
μ	1,40	1,32	1,39	1,34	1,13
NT, рег. т.	754	882	998	1200	1560
K_N	0,389	0,341	0,389	0,280	0,314
η_K	0,955	0,961	0,964	0,949	0,955

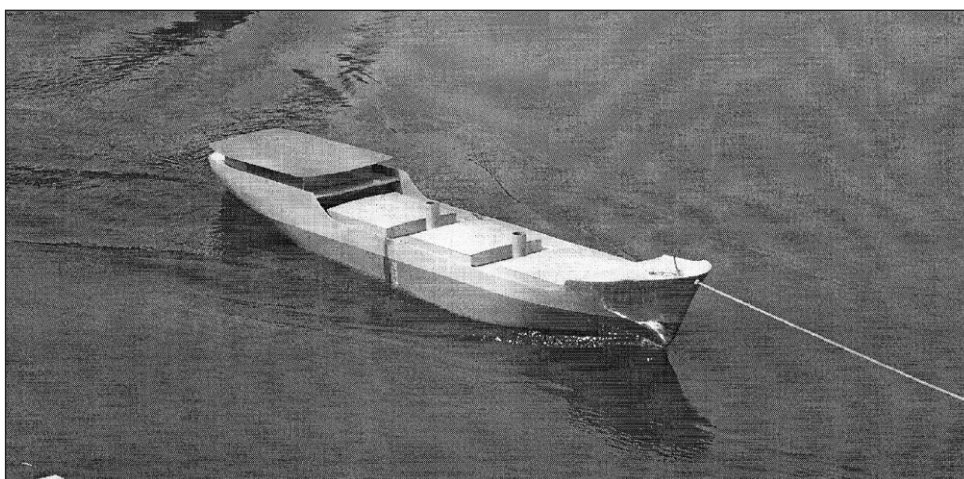


Рис. 2. Ходовые испытания модели типового судна МТГ без цилиндрической вставки

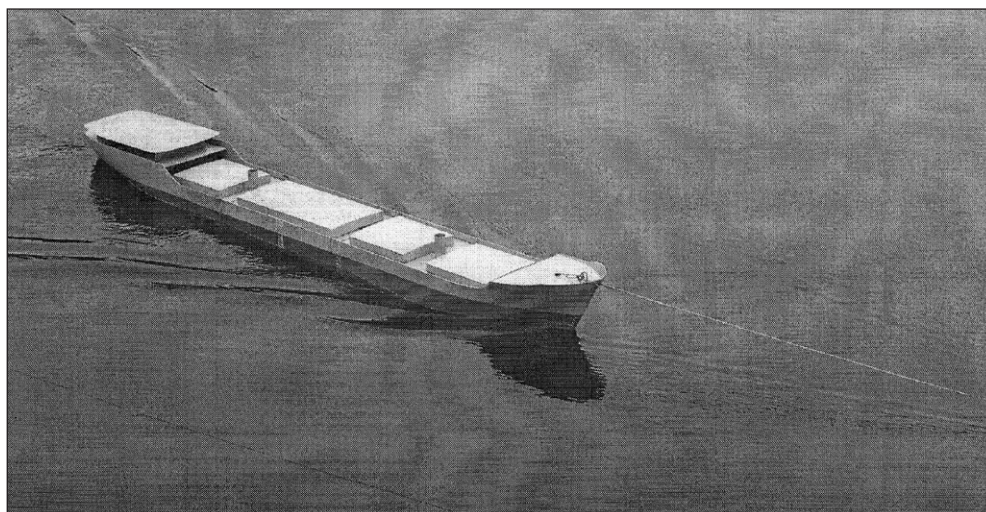


Рис. 3. Ходовые испытания модели типового судна МТГ с цилиндрической вставкой максимальной длины $l = 30,0$ м

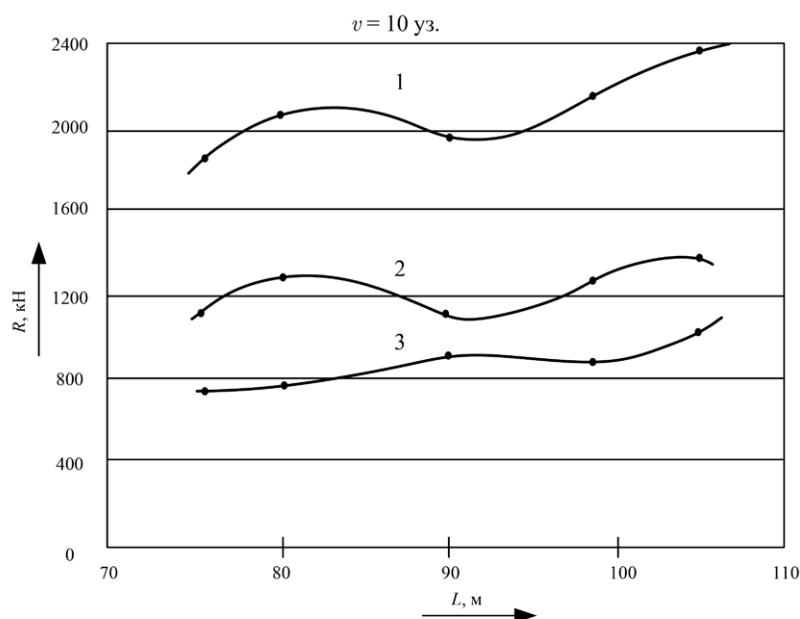


Рис. 4. Характер изменения буксировочного сопротивления в зависимости от длины судна и скорости:
1 — полное сопротивление R ; 2 — остаточное сопротивление R_0 ;
3 — сопротивление трения R_f

Для сопоставления качеств сравниваемых судов выделили наиболее важные их характеристики и установили критерии для их оценки. С целью представления свойств модели в формализованном виде записали их свойства P_j в виде членов P_{ji} матрицы $|C_{ji}|$. Причем критериальная i -оценка каждой характеристики проводилась по трехбальной системе $i = \{1, 2, 3\}$.

1. Оценка удельной грузоподъемности судна:

$$P_{11} - 1,25 > \mu > 1,05; P_{12} - 1,65 > \mu > 1,25; P_{13} - \mu > 1,65.$$

2. Оценка коэффициента общей полноты судна:

$$P_{21} - 0,65 > \delta > 0,60; P_{22} - 0,75 > \delta > 0,65; P_{23} - \delta > 0,70.$$

3. Оценка коэффициента утилизации водоизмещения по дедвейту:

$$P_{31} - 0,65 > \eta_{DW} > 0,55; P_{32} - 0,70 > \eta_{DW} > 0,65; P_{33} - \eta_{DW} > 0,70.$$

4. Оценка коэффициента утилизации водоизмещения по чистой грузоподъемности:

$$P_{41} - 0,60 > \eta_p > 0,50; P_{42} - 0,65 > \eta_p > 0,60; P_{43} - \eta_p > 0,65.$$

5. Оценка относительной скорости судна:

$$P_{51} - 0,25 > Fr > 0,22; P_{52} - 0,22 > Fr > 0,19; P_{53} - 0,19 > Fr > 0,16.$$

6. Оценка удельной затраты мощности:

$$P_{61} - 0,26 > n > 0,23; P_{62} - 0,23 > n > 0,20; P_{63} - n > 0,20.$$

7. Оценка запаса мощности ССУ:

$$P_{71} - 0,40 > K_N > 0,35; P_{72} - 0,35 > K_N > 0,30; P_{73} - K_N > 0,30.$$

8. Оценка общей прочности судна:

$$P_{81} - 14 > L/D > 13; P_{82} - 13 > L/D > 12; P_{83} - L/D > 12.$$

9. Оценка коэффициента утилизации дедвейта по чистой грузоподъемности:

$$P_{91} - 0,943 > \eta_K > 0,940; P_{92} - 0,960 > \eta_K > 0,945; P_{93} - \eta_K > 0,960.$$

10. Оценка показателя остойчивости и качки:

$$P_{101} - 2,1 > B/d > 2,0; P_{102} - 2,3 > B/d > 2,1; P_{103} - 2,5 > B/d > 2,3.$$

На основании ненулевых значений элементов матрицы

$$|C_{ji}| = \begin{vmatrix} 0, & \dots, & P_{1r}, & \dots, & 0 \\ - & - & - & - & - \\ 0, & \dots, & 0, & P_{ki}, & 0 \\ - & - & - & - & - \\ P_{m1}, & \dots, & 0, & \dots, & 0 \end{vmatrix},$$

соответствующих эксплуатационным характеристикам судна, ниже определен показатель K_{mn} эффективности каждого сравниваемого судна. Этот показатель определяется по формуле

$$K_{mn} = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ji} \right) / m \cdot n.$$

Считается, что чем больше значение коэффициента K_{mn} , тем лучшие показатели имеет судно (см. табл. 2).

Таблица 2

Определение показателя эффективности судов до и после модернизации

№ п/п	Длина цилиндрической вставки, м	Ненулевые элементы матрицы C_{ji} для каждого судна	Показатель K_{mn} эффективности
1	0	$P_{12}, P_{22}, P_{31}, P_{42}, P_{52}, P_{61}, P_{71}, P_{82}, P_{92}, P_{103}$	0,600
2	5,0	$P_{12}, P_{22}, P_{32}, P_{41}, P_{52}, P_{61}, P_{71}, P_{82}, P_{93}, P_{102}$	0,633
3	15,0	$P_{12}, P_{22}, P_{32}, P_{43}, P_{52}, P_{62}, P_{71}, P_{82}, P_{93}, P_{102}$	0,700
4	23,5	$P_{12}, P_{23}, P_{33}, P_{43}, P_{52}, P_{62}, P_{73}, P_{81}, P_{92}, P_{102}$	0,767
5	30,0	$P_{11}, P_{23}, P_{33}, P_{43}, P_{52}, P_{63}, P_{72}, P_{81}, P_{92}, P_{102}$	0,733

На основании выполненных расчетов и результатов морфологического анализа можно сделать следующие выводы.

1. При увеличении длины судна за счет цилиндрической вставки водоизмещение, вместимость и дедвейт судна увеличиваются пропорционально изменению его длины. При этом темпы прироста вместимости и дедвейта опережают темпы прироста массы корпуса судна (см. табл. 3 и рис. 5).

Таблица 3

Оценка показателей качества модернизации судна

№ п/п	Наименование расчетных показателей	Значения L/B			
		6,4	7,2	7,9	8,4
1	Темпы прироста ресурсов, $T_{рес.}$	0,023	0,054	0,085	0,108
2	Темпы прироста результатов, $T_{рез.}$	0,044	0,177	0,403	0,777
3	Количественный показатель, K_1	0,523	0,305	0,211	0,139
4	Качественный показатель, K_2	0,477	0,695	0,789	0,861

2. С увеличением длины судна буксировочное сопротивление увеличивается неравномерно. При скорости хода $v_s = 10$ уз наблюдаются локальные минимумы и максимумы (см. рис. 4).

3. Коэффициент утилизации водоизмещения по дедвейту с увеличением длины цилиндрической вставки растёт.

4. Расход топлива зависит от чисел Фруда. С увеличением чисел Фруда расход топлива увеличивается. Экспериментально установлено, что закономерность снижения чисел Фруда почти линейная. До модернизации $Fr = 0,249$, а после удлинения судна до $L = 105,0$ м – $Fr = 0,211$.

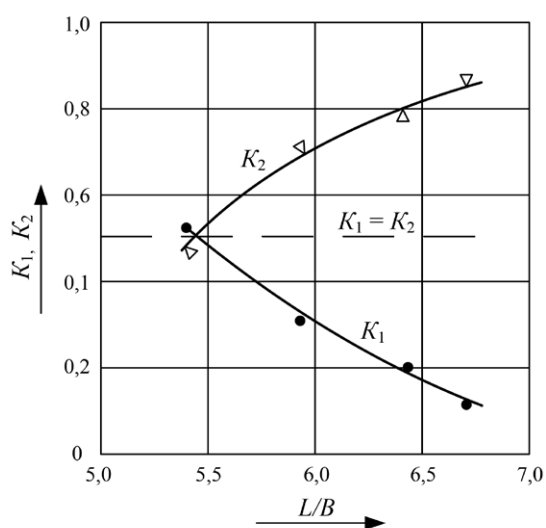


Рис. 5. Показатели качества модернизации

5. Результаты морфологического анализа судов до и после модернизации свидетельствуют о том, что комплексные показатели эффективности судов после модернизации увеличиваются (см. табл. 2).

6. Наибольшие значения $K_{mn} = 0,767$ и $0,739$ соответственно имеют суда с цилиндрическими вставками длиной 23,5 м и 30 м. Однако судно со вставкой длиной 23,5 м более предпочтительно, так как оно имеет на 15,7 % большее значение удельной грузоемкости.

7. В целом модернизация за счет установки цилиндрической вставки приводит к улучшению основных эксплуатационных характеристик судна. Однако ее следует проводить только в том случае, если вставка имеет длину более $l > 5,0$ м. Только в этом случае будет выполняться условие $K_2 > 0,5$, и совершенствование судна будет происходить по интенсивному пути (см. рис. 5) за счет качественного фактора.

Список литературы

1. Аристархов В. Возрождать флот – забота общая / В. Аристархов // Морской флот. — 2001. — № 5. — С. 3–5.
2. Баранов В. С. Удлинение корпуса сухогрузного судна / В. С. Баранов // Технология судостроения. — 1965. — № 3. — С. 134–135.
3. Барабанов М. Н. Суда стандартных проектов — их настоящее и будущее / М. Н. Барабанов // Судостроение. — 1994. — № 2–3. — С. 11–15.
4. Бугаев В. Г. Анализ спроса и предложения на рынке морских транспортных судов / В. Г. Бугаев, М. В. Коваленко, М. В. Войлошенко // Проблемы транспорта Дальнего Востока: материала шестой междунар. научно-технич. конф. — Владивосток ДВО ПАТ, 2005. — С. 22–23.
5. Гундобин А. А. Размерная модернизация и переоборудование судов / А. А. Гундобин, Г. Н. Финкель. — Л.: Судостроение, 1977. — 157 с.
6. Гундобин А. А. Определение основных элементов судна при увеличении его грузоподъемности за счет удлинения / А. А. Гундобин // Судостроение. — 1967. — № 9. — С. 8–10.
7. Луговец А. А. Организационно-экономические условия обеспечения либерализации отечественного судостроения и судоходства / А. А. Луговец, А. Д. Москаленко А. В. Степанец // Проблемы транспорта Дальнего Востока. Пленарные доклады девятой международной науч.-практич. конф. (FEBRAT-11). 5–7 октября 2011 г. — Владивосток: ДВО Российской Академии транспорта, 2011. — С. 9–14.
8. Москаленко М. А. Оценка рисков на рынке морского страхования судов / М. А. Москаленко, З. М. Субботин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — Новосибирск. НАВТ, 2008. — С. 15–18.
9. Соколов В. П. Экономическое обоснование проектов судов в условиях рынка / В. П. Соколов // Судостроение. — 1993. — № 1. — С. 14–16.
10. Egorov G. V. Dimensional modernization of the timber carrier “Pavlin Vinogradov” / G. V. Egorov, I. A. Ilnitskiy type // Team 2010, Vladivostok. — 2010. — P. 267–272.

УДК 378

Е. А. Романова,
аспирант,
Нижегородский государственный технический
университет им. Р. Е. Алексеева;

А. Д. Романов,
инженер,
Нижегородский государственный технический
университет им. Р. Е. Алексеева

РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО ПАРУСНОГО СУДНА ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ

DEVELOPMENT OF THE TRAINING SAILING SHIP FOR INTERNAL WATERWAYS

В статье рассматривается и обосновывается актуальность разработки, постройки и серийного внедрения учебного парусного судна для внутренних водных путей нашей страны. Выполнен экономический анализ выбора габаритов учебного парусного судна, которые в значительной степени зависят от количества курсантов на борту и условий эксплуатации (осадка судна, глубина водоема и т.д.). Приведены проекты-аналоги учебных судов, длина которых составляет по ватерлинии порядка 10 м.

В качестве примера расчета стоимости дана калькуляция постройки современной яхты со стеклопластиковым корпусом проекта «Рикошет 930». При этом стоимость матрицы для постройки корпуса может превышать стоимость постройки одного корпуса, а сама постройка корпуса требует специального помещения и оборудования. Поэтому предлагается изготавливать корпусные детали и перевозить их для достройки на месте у потенциальных заказчиков. Это позволит значительно снизить расходы и дать возможность оснастить клубы юных моряков современными судами.

Предложенная концепция создания учебного парусного судна актуальна для студентов различных специальностей. Реализация данного проекта позволит студентам пройти полный цикл создания судна.

Relevance of development, construction and serial introduction of the training sailing ship for internal waterways of our country is considered and locates in the present article. In work the economic analysis of a choice of dimensions of the training sailing ship which substantially depend on number of cadets on a board and service conditions is made (a vessel deposit, reservoir depth, etc.). Projects analogs of training ships which length makes about 10 meters on a waterline are provided.

As an example of calculation of cost accounting of construction of the modern yacht with the fiberglass case of the Ricochet project 930 is given. Thus matrix cost for construction of the case can exceed the cost of construction of one case, and construction of the case demands the special room and the equipment. Therefore it is offered to make case details and to transport them for completion on a place at potential customers. It will allow to cut considerably expenses and to give the chance to equip clubs of young seamen with modern courts.

The offered concept of creation of the training sailing ship is actual for students of various specialties. Implementation of this project will allow students to take place a full cycle of creation of the vessel.

Ключевые слова: учебное парусное судно, курсант, студент, плавательная практика
Key words: training sailing ship, cadet, student, swimming practice

В БЕК научно-технической революции парусное судно — анахронизм. Тем не менее они имеются в составе флотов всех морских держав. Всего в мире более 80 учебных и учебно-прогулочных парусников, кроме того согласно справочнику Janes Fighting ships некоторые парусники принадлежат военно-морским флотам и находятся в учебных подразделениях, например греческий «Olympias» или новозеландские 12-метровые яхты. В ряде случаев серийные крейсерские яхты выступают в роли учебных судов (так, например, организует практику Морская академия США в Аннаполисе), а крупные шхуны именуются «молодежными прогулочными яхтами».

Из 83 регионов России 60 — это морские, речные края, области и республики. В СССР была сильно развита подготовка молодежи по различным программам ОСАВИАХИМ, например «Военно-морская шлюпка» [1]. К концу 1939 года, по неполным данным, военно-морской работой было охвачено почти 49 000 человек. В этом же году выполнили нормы на значок «Юный моряк» 9667 человек, на значок «Моряк» — 7191 человек, а в 1941 г. подготовкой по нормативам на значки «Юный моряк» и «Моряк» занималось уже почти 60 000 человек.

До перестройки в нашей стране насчитывалось 250 детских пароходств, флотилий, клубов морского и речного профиля. Сегодня большинство из них закрылось под гнетом финансового бремени по содержанию имущественного комплекса, а особенно учебного флота. Большие парусники из-за своей малочисленности не могут охватить все желающих. К тому же наличие больших учебных судов накладывает обязательства на компанию-владельца по их освидетельствованию, содержанию и эксплуатации. Ряд моторных судов были переоборудованы в учебные парусные суда малого водоизмещения, например «Славия» и «Юный балтиец», кроме того в клубах юных моряков активно используются суда на базе ЯЛ 6 и «самострой» на базе спасательных шлюпок [2]. В Петрозаводске в 2009 г. построена учебная двухмачтовая шхуна «Ильмера». РДОО «Гардемарины» разработан проект легкой шхуны, построена серия судов, на которых регулярно проводятся регаты «Кубок легких шхун».



Рис. 1. Слева — «Юный Балтиец», в центре — «Ильмера», справа — легкая шхуна

Школой юных речников-моряков могут стать многочисленные малые учебные парусно-моторные суда, рассчитанные на 6–10 курсантов. Их можно эксплуатировать во всех регионах РФ, где имеются пригодные для этого водоемы.

В настоящее время в России создано большое число судов с 1–2-мачтовым парусным вооружением, стилизованным под старину, самым малым из которых является двухместный 2-мачтовый «Оптимист» с использованием стандартного парусного вооружения класса «Оптимист». Минимально оснащенным, вероятно, является описанный в [3] кеч с одной каютой. Однако, так как проект предполагает практическое обучение студентов полному циклу строительства судна с созданием опытного судна из композиционных материалов, включая матрицу, то данный вариант не является оптимальным. Причем, предполагается, что конструировать судно будут сами студенты под руководством опытных инженеров. Это позволит участвующим в проекте пройти полный цикл создания судна. Студенты на собственном опыте поймут, как зависят параметры создаваемого судна (длина, ширина, осадка, водоизмещение, мощность двигателя, стоимость постройки и эксплуатации и т.п.) от закладываемых в техническом задании условий (количество экипажа, автономность, материал корпуса и пр.).

Судно предполагается разработать с возможностью превращения классического брига в бригадину (на грот-мачте убираются реи прямых парусов и поднимается косой парус) или шхуну (убираются реи с обеих мачт). Это необходимо, потому что на судах с одними косыми парусами, поднимаемыми с палубы, экипаж имеет практики меньше, чем нужно. При прямом вооружении, наоборот, нужна опытная команда, а тяжелой работы на высоте слишком много. Капитан-инструктор может варьировать набор парусов таким образом, чтобы постепенно вводить

новичков в курс дела и не лишать их возможности поработать на реях, когда они уже будут иметь необходимую подготовку.

Несмотря на то, что в настоящее время сталь — наиболее распространенный судостроительный материал, и разрабатываются новые судостроительные стали, нами предлагается создать подобное учебное парусное судно с корпусом из композиционных материалов. При применении классического парусного вооружения корпус судна предполагается создавать из стеклопластика, так как это перспективный материал и имеет все большее распространение в гражданском и военном судостроении. Например, корабль проекта 12700 выполнен полностью в композитном корпусе, изготовленном вакуумно-диффузионным методом. При работе над проектом студенты на собственном опыте осваивают ручную и автоматизированную формовку стеклопластиковых конструкций, а также познакомятся с применением новых материалов, таких как квадроаксиальная ткань, и ее отличиями от биаксиальной.

Экономический анализ выбора габаритных размеров учебного парусного судна для внутренних водных путей

Для анализа стоимостей постройки судна (рис. 2) были выбраны компании, серийно занимающиеся постройкой парусных яхт с корпусом из стеклопластика: Hunter, Beneteau, Jeanneau, Hanse, Dufour, Bavaria. Ставилась цель не сравнить стоимости яхт различных производителей между собой, а определить динамику изменения цены в зависимости от длины корпуса и количества курсантов на борту. Анализировалась не конечная стоимость постройки судна, а рост стоимости в зависимости от длины судна. Яхты компаний производителей были сгруппированы в группы длиной $\pm 0,5$ м, т. е. например от 7 до 8 м. Использовалась цена в минимальной комплектации, так как насыщение современным электрооборудованием и/или гоночным парусным вооружением может значительно увеличить стоимость судна. Анализировались не современные данные, что могло дать большой разброс исходных данных, а предкризисный каталог [4], в котором собраны действовавшие на тот момент цены.

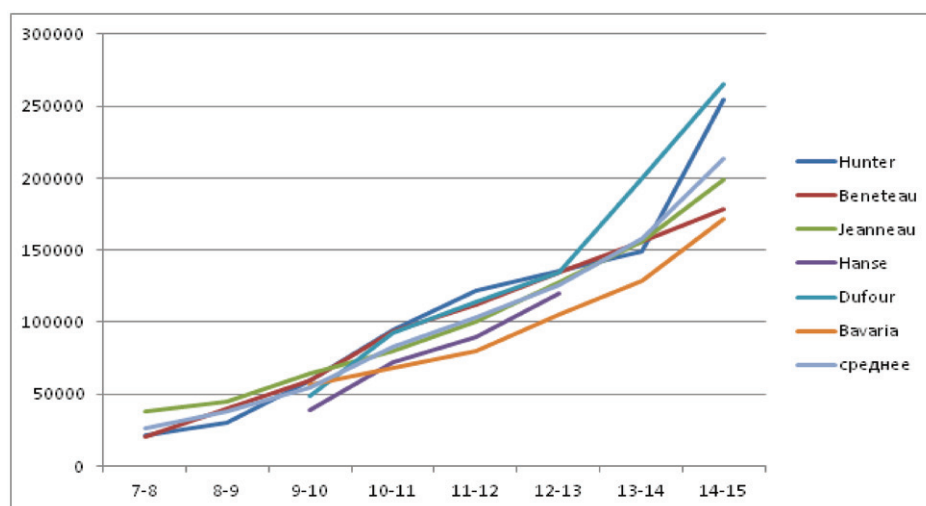


Рис. 2. Стоимость яхт в зависимости от длины корпуса, руб.

Расчет приведенной стоимости строительства был выполнен по формуле

$$П_i = \frac{Ц_{i\text{ср}}}{Ц_{(7-8)\text{ср}}}, \text{ руб.}$$

где $Ц_{i\text{ср}}$ — средняя стоимость судна определенной длины, руб; $Ц_{(7-8)\text{ср}}$ — средняя стоимость судна длиной в диапазоне 7–8 м, руб; $П_i$ — приведенная стоимость судна определенной длины.

Во флотах различных стран ситуация, когда количество спальных мест экипажа меньше, чем членов экипажа на борту, имеет различное название, например немецкое/английское — «те-

плая койка», американское — «переходящее спальное место» и др. Так как предполагается использование судна, в том числе и для дневных походов, расчет сделан для случая уплотненного размещения экипажа. При этом во время проектирования увеличение числа членов экипажа не должно ухудшать безопасность плавания на судне.

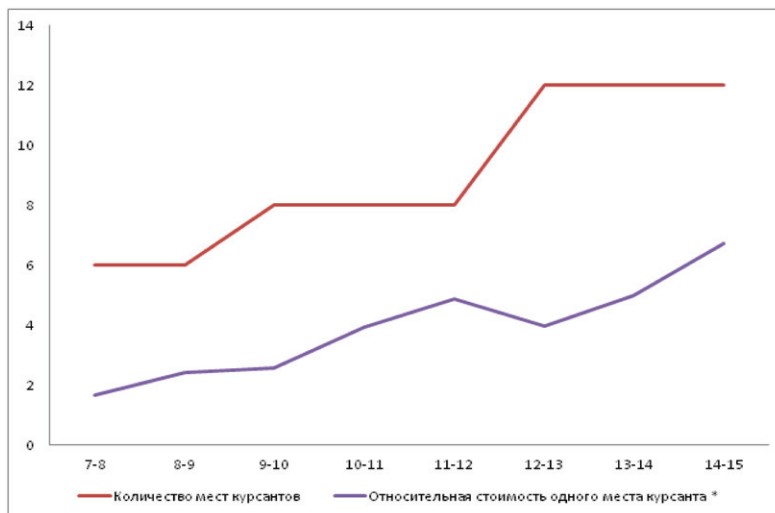


Рис. 3. Зависимость стоимости одного места от количества кают (для наглядности относительная стоимость увеличена в 10 раз)

Большинство рассмотренных проектов имели следующее количество отдельных кают: суда средней длиной до 9,5 м — не более 2 кают и кают-компанию; суда средней длиной до 11,5 м — не более 3 кают и кают-компанию; суда большей длины — более 3 кают.

В расчете заложено, что на одно спальное место в дневных выходах приходятся 2 курсанта. Места в кают-компании не учитываются, кроме случая для судна длиной до 9,5 м, где используется одно место в кают-компании, так как на большинстве судов данного типа имеется не более 2 отдельных кают. Предполагается, что на судне должно находиться не менее 2 инструкторов, имеющих отдельную каюту.

Суда длиной менее 9 м чаще всего имеют только одну каюту с выгородками спальных мест. В проекте предполагается организация размещения экипажа в отдельных каютах, обеспечивающих повышенный уровень комфорта. Кроме того обязательным условием является наличие галюна с душем.

Из рис. 3 видно, что приведенная стоимость одного места меняет свое значение в местах увеличения количества кают. Но при этом стоимость 1 места на судне длиной 12–13 м при строительстве обходится более чем в 1,5 раза дороже, чем на судне длиной 9–10 м.

В обслуживании судно длиной 12 м также дороже 10-метрового, кроме того в условиях внутренних водных путей критической величиной для большого числа водоемов является осадка судна. Поэтому для дальнейших работ был выбран вариант судна длиной порядка 10 м с тремя каютами, кают-компанией и галюном.

Анализ стоимости компонентов парусного судна

Большинство компаний, производящих парусные яхты, приводят только стоимость парусного судна в базовой комплектации, с описанием стандартного оборудования, предлагая только выбор опций, стоимость которых может превышать стоимость яхты в базовой комплектации. Оценить стоимость комплектующих входящих в стандартное оборудование с достаточно большой степенью достоверности возможно, однако стоимость изготовления корпусных деталей, оборудования кают определить затруднительно. Доставка яхты, не входящей в автомобильный габарит, также приводит к росту стоимости.

Ближайшим российским аналогом парусного судна длиной порядка 10 м и имеющего возможность обустройства трех отдельных кают и гальюна является яхта «Рикошет 930», производимая компанией «Спрей и Ко» (Sprayltd, г. Екатеринбург) [5]. Стоимость отдельных элементов приведена в процентах (табл. 1), так как ставится задача оценить не сам элемент, а вклад его в общую стоимость яхты, к тому же применение иностранных комплектующих неизбежно ведет к колебанию стоимости элементов со временем в зависимости от колебания курса евро к рублю.

Таблица 1

Калькуляция постройки яхты «Рикошет 930»

Наименование пункта	Стоимость, %
Комплект стеклопластиковых изделий	15,0
Сборка корпуса	12,3
Фальшкиль	3,2
Энергоустановка, включая топливную систему и систему газоотвода, звукоизоляцию	18,0
Системы водоснабжения, сточных вод, включая оборудование гальюна	2,9
Электрооборудование, включая АКБ	2,9
Рулевое устройство	1,5
Палубное оборудование	5,7
Оборудование кают, включая выгородки, элементы мебели, зашивку бортов и подволока, пайолы, настилы коек, мягкую мебель, камбуз	13,1
Рангоут	2,9
Такелаж	15,4
Паруса	6,2
Навигационное оборудование	1,0
Всего	100,0

В ходе анализа литературных данных и проектов-аналогов с современным и классическим парусным вооружением [6]–[11], были выбраны следующие (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение проектов

Название	«Spray»	Бригантина «Старина»	«Hout Bay» 30	«Рикошет 930»
Водоизмещение	12,7	6,0	7,25	3
Длина с бушпритом, м	12,1	10,0	11,15	9,3 (без бушприта)
Ширина, м	4,3	2,96	3,3	3,26
Осадка, м	1,3	1,5	1,5	1,94*
Тип парусного вооружения	Шлюп, Иол	Бригантина, шхуна	Гафельный тендер	Бермудский шлюп
Площадь лавировочных парусов, м ²	~ 50	52 (Бригантина) 45 (Шхуна)	50,2	56,0
Материал корпуса	Дерево	Дерево	Сталь	Стеклопластик
Особенности	Внутренний балласт	Внешний балласт	Развитый фальшкиль	Развитый фальшкиль

*Примечание: В варианте «компромисс» осадка порядка 1,5 м.

Постройка корпуса требует специальных навыков, помещения и оборудования, времени. Причем, стоимость матрицы для корпуса может превышать стоимость постройки одного корпуса. Из табл. 2 видно, что значительная часть работ по строительству судна может быть выполнена на месте. Фактически покупая корпус для достройки, заказчик может значительно сократить сроки строительства судна, при этом сэкономив на монтажных работах, что зачастую важно для клубов юных моряков.

Предполагается, что в ходе проектирования в свободном доступе все чертежи парусного судна и его элементов будут размещены на сайтах университетов участников проекта. Это позволит реализовать принцип «критикуешь — предлагай». Кроме того потенциальный заказчик на месте может изготовить необходимые элементы для обустройства кают по собственному желанию.

Заключение

Сейчас российский флот как никогда нуждается в кадрах, и первое желание идти туда работать должно зарождаться в клубах юных моряков. Комплексный подход с использованием современного оборудования позволяет подготовить квалифицированных специалистов, которые на практике осваивают полный цикл изготовления сложных изделий, способных после окончания института сразу приступить к работе с современным наукоемким оборудованием и передовыми технологиями. Кроме того данный подход к организации образовательного пространства способствует формированию системы подготовки, развития и поддержки кадров и развитию молодежных инициатив в сфере научно-технического творчества молодежи [12], [13].

Данный проект позволит пройти полный цикл создания судна: обоснование параметров судна, разработка технического задания, компьютерное моделирование судна и его отдельных элементов в различных условиях, создание натурной модели судна и проведение экспериментов в модельном бассейне, создание матрицы корпусных и палубных элементов с использованием роботизированного фрезерного комплекса, расчет раскладки ткани для вариантов монолитного корпуса и макронеоднородных слоевых конструкций, насыщение корпуса оборудованием, спуск судна, практическая эксплуатация.

Список литературы

1. Авраамов Н. Ю. Военно-морская шлюпка / Н. Ю. Авраамов. — М.: Редиздат ЦС ОСАВИАХИМ СССР, 1941. — 132 с.
2. Чернышов Е. А. Разработка учебного парусного судна для внутренних водных путей / Е. А. Чернышов, А. Д. Романов // Международный журнал экспериментального образования. — 2013. — № 11(2). — С. 31–33.
3. Глебов А. Построено любителями: Шхунка для кадетов / А. Глебов // Катера и яхты. — 2014. — 4 (250). — С. 136–140.
4. Современные катера и яхты. — СПб.: Премьера, 2003. — 475 с.
5. Фактическая калькуляция яхты «Рикошет 930» [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — режим доступа: <http://www.sprayltd.ru> — официальный сайт компании «Спрей Лтд».
6. Griffiths M. Sixty years a Yacht Designer / M. Griffiths. — London: Sheridan House, 1988. — 128 p.
7. Миддендорф Ф. Л. Рангоут и такелаж судов / Ф. Л. Миддендорф. — СПб: К. Л. Риккер, 1905. — 479 с.
8. Folkard H. C. The sailing boat / H. C. Folkard. — London: Longmans, Green and Co., 1870. — 456 p.

9. *Traung Jan-Olof*. Fishing boats of the World / Jan-Olof Traung. — London: Fishing News (Books) Ltd., 1960. — 841 p.
10. *Слокам Д.* Один под парусами вокруг света / Д. Слокам. — М.: Армада-пресс, 2002. — 377 с.
11. [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — режим доступа: <http://www.dixdesign.com> — офиц. сайт компании DUDLEY DIX YACHT DESIGN.
12. *Чернышов Е. А.* Опыт внедрения технологии сквозного цифрового проектирования в рамках научно-исследовательской работы студентов и аспирантов / Е. А. Чернышов, К. О. Гончаров, А. Д. Романов, А. Л. Кулагин // Современные наукоемкие технологии. — 2014. — № 4. — С. 92–96.
13. *Чернышов Е. А.* Об опыте обучения студентов инженерных специальностей основам управления проектами / Е. А. Чернышов, А. Д. Романов // Международный журнал экспериментального образования. — 2014. — № 1. — С. 54–57.

ВОДНЫЕ ПУТИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И ПОРТЫ

УДК 622.279.72(075.8):550.8

А. Е. Воробьев,
д-р техн. наук, профессор,
Российский университет дружбы народов

ОСНОВЫ МЕХАНИЗМА ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ НАНОТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ДОБЫЧЕ АКВАЛЬНЫХ ГАЗОГИДРАТОВ

BASES OF THE MECHANISM OF EFFECTIVE APPLICATION OF INDUSTRIAL NANOTECHNOLOGIES AT PRODUCTION OF AQUATIC GAS-HYDRATES

Рассмотрены различные механизмы образования газовых гидратов и соответствующие им промышленные технологии получения из них метана. Представлены разнообразные типы наночастиц, посредством которых целесообразно вести разработку газогидратных залежей. В целом механизм формирования газогидратных залежей определяется многими, зачастую стохастическими факторами: интенсивностью генерации и особенностями миграции углеводородов, составом газа, степенью газонасыщенности и минерализации вод, литологической характеристикой разреза, структурой пористой среды, термодинамическим режимом разреза вмещающих пород, геотермическим градиентом в зоне гидратообразования и в подстилающих породах и др. Знание кинетики и морфологии образования залежей газогидратов будет способствовать разработке более эффективных технологий их освоения, что обусловлено различным их строением. Различные виды газогидратных залежей, а также их перемешивание при формировании с илом и илистыми частицами будет предопределять возможные количественные параметры и основные режимы промышленных технологий их разработки.

Various mechanisms of formation of gas hydrates and corresponding to them industrial technologies of receiving methane from them are considered. Various types of nanoparticles by means of which it is expedient to conduct development of gaseous-hydrate deposits are presented. So, in general the mechanism of formation of gaseous-hydrate deposits is defined by many – often stochastic factors: intensity of generation and features of migration of hydrocarbons, composition of gas, degree of gas saturation and a mineralization of waters, the lithologic characteristic of a section, structure of the porous environment, the thermodynamic mode of a section of the containing breeds, a geothermal gradient in a zone of hydrate formation and in the spreading breeds, etc. The knowledge of kinetics and morphology of formation of deposits of gas hydrates will promote development of more effective technologies of their development that is caused by their various structures. Different types of gaseous-hydrate deposits and also their hashing when forming with silt and oozy particles will predetermine possible quantitative parameters and the main modes of industrial technologies of their development.

Ключевые слова: аквальные залежи, газогидраты, возникновение чрезвычайных ситуаций, механизм.
Key words: aquatic deposits, gas hydrates, emergency occurrence, mechanism.

Введение

Наблюдаемый в настоящее время повсеместный переход к широкому применению промышленных нанотехнологий является одним из важнейших направлений эффективного мирового научного и технологического развития. В частности, в 2000 г. мировой рынок нанопродукции оценивался в 2,6 млрд долл. США, а в 2014 г. он достиг значения более 25 млрд долл. США [1].

Кроме этого, в 2003 г. в мире было зарегистрировано 8600 патентов на изобретения в области нанотехнологий и наноматериалов (в 1976–2003 г.г. на США приходилось свыше 60 % таких патентов). В 2003 г. из 8600 этих патентов в странах «Большой восьмерки» на США приходилось 5228 патентов, Японию — 926, Германию — 684, Канаду — 244 и Францию — 183 [1]. В свою очередь, в США наибольшее количество патентов на изобретения в области нанотехнологий и наноматериалов используют такие компании, как IBM, Intel и L'Oreal.

Для поддержки и развития наноиндустрии в США была одобрена и действует с 2000 г. программа развития нанотехнологических исследований «Национальная Нанотехнологическая Инициатива». В течение 2001–2005 гг. расходы на эту программу только со стороны государства превышали 4 млрд долл., а число ученых занятых в ней превысило 100 000 человек, причем частные инвестиции в нанотехнологии примерно в 10 раз превысили правительственные.

В Европейском Союзе программа развития нанотехнологий включает множество проектов, направленных на установление лидирующих позиций на ряде критических направлений, начиная с разработки микроантенн и микроустройств, и заканчивая разработкой микророботов, способных восстанавливать больные человеческие органы. В 2007 г. на тематическое направление «Нанонауки, наноматериалы и новые технологии» в ЕС было выделено 3,5 млрд евро.

В Японии с 1999 г. действует японская «Национальная программа работ по нанотехнологии». В Китае пятилетний план 2001–2005 гг. включал выделение 300 млн долл., позволив выйти на мировой уровень разработок.

Развитие и становление наноиндустрии в Российской Федерации определяется следующими стратегическими документами [2]:

— Концепцией развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий на период до 2010 года (одобрена Правительством Российской Федерации 18 ноября 2004 г. № МФ-П7-6194).

— Федеральной целевой программой «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы» (постановление Правительства Российской Федерации № 613 от 17 октября 2006 г.). Реализация стратегической цели этой Программы включает 2 этапа: первый этап — 2008–2011 гг., второй этап — 2012–2015 гг.

— Президентской инициативой «Стратегия развития наноиндустрии» (№ Пр-688 от 24 апреля 2007 г.).

— Федеральной целевой программой «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2010 годы» (постановление Правительства Российской Федерации № 498 от 2 августа 2007 г.).

— Программой развития наноиндустрии в Российской Федерации до 2015 года (одобрена Правительством Российской Федерации 4 мая 2008 года ВЗ-П7-2702) (далее — Программа).

— Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года (Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации № 1662-р от 17 ноября 2008 г.).

Основное содержание

Различные **наноструктуры** имеют размеры в пределах от одной десятой части нанометра ($0,1 \text{ нм} = 1 \text{ \AA}$, т.е. одного Ангстрема, — единицы длины порядка, равного размеру одного атома) до 100 нм ($0,1 \text{ мкм} = 10^{-7} \text{ м}$) [3], [4]. Благодаря таким своим размерам наноструктуры «подчиняются» прежде всего законам квантовой природы и поэтому проявляют свойства, принципиально отличающиеся от тех, что описаны в терминах традиционной физики, химии, механики и биологии [5].



Рис. 1. Наночастица

Наночастица — это квази-нульмерный (0D) нанообъект, у которого все характерные линейные размеры имеют один порядок величины [6]. Формальными признаками наночастиц являются их преимущественно сферическая форма (рис. 1) и значения размеров — от 1 до 250–300 нм.

Если в структуре наночастицы наблюдается ярко выраженное упорядоченное расположение атомов (или ионов), то такие наночастицы называют **нанокристаллитами** [7], [8]. В связи с этим в группу наночастиц относят весьма разнородные по химическому строению и физическим свойствам частицы (см. таблицу).

Классификация наночастиц [9]

Вид наночастиц	Разновидности (примеры)
Углеродные наночастицы	Фуллерены Цельноуглеродные наночастицы
Кремнеземные наночастицы	Аэросил
Дендримеры	Полиамидоамин Полилизин
Липосомы	Малые однослойные липосомы Большие однослойные липосомы Многослойные липосомы
Полимерные мицеллы	Полиаспартат- <i>b</i> -полиэтиленгликоль Поликапролактон- <i>b</i> -метоксиполиэтиленгликоль
Полимерные биodeградируемые наночастицы	<i>Синтетические</i> Полиметилметакрилат Полиметилцианакрилат и др. Гамма-полиглутаминовая кислота Полилактид Поли(лактид-ко-гликолид) <i>Натуральные</i> Хитозан Альбумин Желатин Агароза
Квантовые точки	Селенид кадмия Теллурид кадмия Фосфид индия Арсенид индия
Металлические наночастицы	Золото Серебро
Суперпарамагнитные частицы	Оксид железа
Перфторуглеродные наночастицы	Наночастицы, состоящие из жидкого перфторуглеродного ядра, покрытые липидным монослоем

Наличие наноструктур и наночастиц, обладающих принципиально особыми свойствами, обуславливает необходимость разработки соответствующих промышленных технологий в различных сферах человеческой деятельности.

В настоящее время под термином «**нанотехнология**» подразумевают создание и использование различных материалов, устройств и систем, структура которых регулируется в нанометровом масштабе, т.е. в диапазоне размеров атомов, молекул и надмолекулярных образований [10]–[12]. В соответствии с этим нанотехнологии предполагают контролируемое регулирование свойств объектов на молекулярном и надмолекулярном уровне (1–100 нм), определяющих большинство фундаментальных параметров и свойства физических объектов, на основе целенаправленного манипулирования их атомами и молекулами [13]–[15].

Выбор основных инвестиционных наноприоритетов в большинстве развитых странах мира обусловлен прежде всего получением наибольшей финансовой отдачи. В Российской Федерации одним из важных приоритетов nanoиндустрии является сфера недропользования (среды которой, с учетом существенного вклада в ВПП РФ, особое значение имеет нефтегазовая отрасль).

Необходимо отметить, что освоение (разработка) выявленных к настоящему времени значительных объемов природных газогидратов (прежде всего — аквальных залежей), содержащих около $15000 \cdot 10^{12} \text{ м}^3 \text{ CH}_4$, сдерживается их довольно не устойчивым состоянием, обуславливающим возможное быстрое (взрывное) разрушение их массивов, что существенно осложняет и даже препятствует применению промышленных технологий их разработки [16].

При этом традиционно эффективность возможной промышленной добычи аквальных газогидратов, как правило, определяется только давлением, температурой, солевым (ионным) составом морских (океанических) вод, параметрами придонных течений, наличием и характеристиками различных дисперсных частиц, характеристиками и свойствами включенных газов и некоторыми другими факторами обычной размерности [17].

Хотя основным структурным элементом газовых гидратов являются элементы наноразмерности — это кристаллическая ячейка, состоящая из молекул воды, внутри которой и размещена молекула газа [18]. Структура гидратов подобна структуре льда, но отличается от последней тем, что молекулы газа расположены внутри кристаллических решеток (рис. 2), а не между ними.

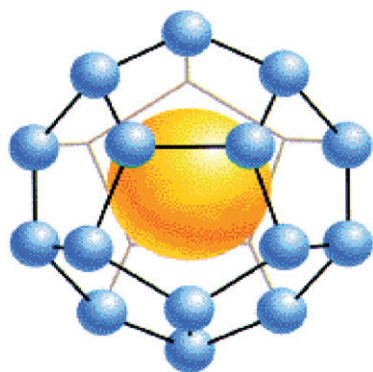


Рис. 2. Упаковка метана в газогидратах

Способностью образовывать газовые гидраты обладают все гидрофобные газы и легколетучие органические жидкости (Ar , N_2 , O_2 , CH_4 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_3H_6 , C_3H_8 , $\text{изо-C}_4\text{H}_{10}$, H_2S , Cl_2 , галогенопроизводные углеводородов $\text{C}_1\text{-C}_4$ и т.д.), а также некоторые гидрофильные соединения — CO_2 , $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ (ацетон) и SO_2 [18], [19].

К настоящему времени разработаны два принципиально разных механизма, по-своему объясняющие образование газовых гидратов [15]:

1. Механическое вхождение молекулы CH_4 в полость кристалла воды.

2. Донорно-акцепторное образование газовых гидратов.

Каждый из этих механизмов образования газогидратов предполагает и принципиально разные технологии их освоения:

— механистический — базирующийся на основе повышения температуры и снижения давления, а также с использованием различных ингибиторов;

— донорно-акцепторный (дипольный) — соответствующие ему наноразмерные технологии.

Так, согласно механистическому механизму образования газовых гидратов к практическому использованию в настоящее время предлагается три основных способа добычи газа из аквальных гидратосодержащих залежей, а также их комбинация:

- 1) депрессионный (предусматривающий понижение давления ниже равновесного давления);
- 2) тепловой (обусловленный нагревом гидратов выше равновесной температуры);
- 3) химический.

Что касается разработки технологии освоения газогидратных залежей по донорно-акцепторному механизму, то в этом случае более приемлемым является использование для разрушения газогидратной ячейки различных наночастиц.

В частности, к настоящему времени были получены следующие новые наночастицы и наноматериалы [2], [20]:

- неионные коллоидные растворы наночастиц металлов;
- анионоподобные высококоординационные аквахелаты нанометаллов;
- гидратированные наночастицы биогенных металлов;
- гидратированные и карботированные наночастицы биогенных металлов;
- электрически заряженные коллоидные наночастицы металлов;
- электрически нейтральные и электрически заряженные металлические наночастицы в аморфном состоянии;
- структурированные агломераты наночастиц;

- наногальванические элементы;
- энергоаккумулирующие металлические наноматериалы.

Кроме этого, необходимо отметить, что к настоящему времени промышленным методом уже созданы мелкодисперсные водные коллоидные растворы фуллеренов C_{60} и C_{70} , содержащие частицы с размерами менее 0,22 мкм $2200\text{\AA}$ [21]. К тому же эти растворы довольно стабильны в течение 3 месяцев [22].

В работе [22] показано, что коллоидные растворы фуллеренов являются типичными гидрофобными гидрозолями, в которых частицы имеют поверхностный отрицательный заряд. Сами частицы имеют, преимущественно, сферическую форму [23]. В этой же работе сообщалось, что получены коллоидные растворы с концентрацией фуллеренов C_{60} вплоть до $2 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³, которые являются стабильными в течение 12–18 месяцев. Причем эти растворы коагулируют при добавлении к ним электролитов.

В настоящее время синтезирован еще один водный молекулярно-коллоидный раствор (C_N FWS) по меньшей мере одного гидратированного фуллерена (описанный в статье [24]).

Минимальный размер кластерных частиц в таких растворах составляет $34\text{\AA}$, а сами частицы представляют собой агрегаты, состоящие из 13 молекул фуллерена C_{60} , причем каждая из них окружена 20–24 молекулами H_2O [25].

В целом фуллерены представляют собой шарообразные сетчатые полые молекулы, в которых число атомов углерода (N) может быть различным, начиная с 60 (с диаметром $\sim 10\text{\AA}$). Наиболее распространенным, изученным и типичным представителем фуллеренов является C_{60} [23].

Известны молекулы фуллеренов C_N , содержащие 70, 76, 82, 84 и до 240 атомов углерода. Очевидно, что чем большее число атомов углерода содержится в молекуле фуллерена, тем больше по размеру является и сама молекула [23]. При этом с увеличением N фуллерены становятся менее доступными и более редкими, однако основные физико-химические свойства у них достаточно близки, в результате в водных растворах они ведут себя одинаково, и закономерности формирования коллоидных растворов фуллеренов, независимо от N , также одинаковы. Символ @ в их формуле означает, что сферическая молекула фуллерена C_N окружена сферической сеткой, состоящей из адсорбированных молекул воды, связанных между собой водородными связями [23].

Как было показано в статье [25], количество молекул воды ($m + n$), адсорбированных на поверхности каждой молекулы фуллерена C_{60} , равно или больше 20.

Для последовательного (не взрывного) промышленного разрушения клатратных соединений — газогидратов (с целью эффективного извлечения содержащегося там метана) целесообразно подавать к ним наночастицы в составе неактивных водных струй, в количестве соответствующему запланированному количеству разрушаемых ячеек (клатратов) газогидратов.

В соответствии с этой идеологией первоначально предполагалось подавать и использовать для этого наночастицы любой формы. Главным являлась их соразмерность с разрушаемыми ячейками клатратов — газовых гидратов.

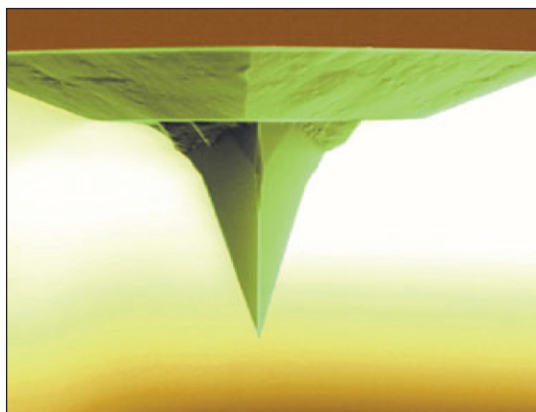


Рис. 3. Вариант шипа наночастицы

В дальнейшем была установлена выраженная зависимость эффективности разрушения газогидратов от формы наночастиц: в частности, от наличия у наночастиц различных шипов (рис. 3). При перемещении сферической частицы, обладающей шипами, вдоль поверхности ячейки (клатрата) газогидратов происходит периодическое поднятие и опускание острия шипа, что приводит к разрушению кристаллической ячейки и высвобождению молекулы метана.

Наноструктуры, которые выглядят как морские ежи (рис. 4), довольно легко формируются электрохимическим методом [26]. Основным материалом для их строительства является полистирол.

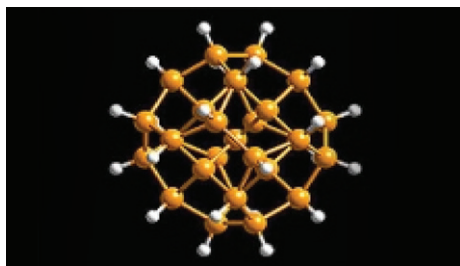


Рис. 4. Наноеж

Микросфера полистирола составляет основу, на которой полупроводниковый оксид цинка посредством нанопроводов образует трехмерную поверхность. В результате получаются полые, сферической формы структуры с торчащими во все стороны шипами (которые выглядят почти как морские ежи).

Однако для последующей эффективной разработки залежей газогидратов имеет важное значение механизм их возникновения и формирования уже не как отдельной частицы-клатрата. Так, в целом механизм формирования газогидратных залежей определяется многими, зачастую

стохастическими факторами [27]: интенсивностью генерации и особенностями миграции углеводородов, составом газа, степенью газонасыщенности и минерализации вод, литологической характеристикой разреза, структурой пористой среды, термодинамическим режимом разреза вмещающих пород, геотермическим градиентом в зоне гидратообразования и в подстилающих породах, фазовым состоянием гидратообразователей и др.

Знание кинетики и морфологии образования залежей газогидратов будет способствовать разработке более эффективных технологий их освоения, что обусловлено различным их строением (рис. 5).

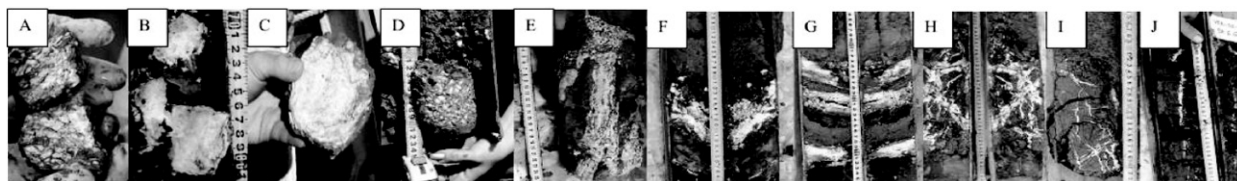


Рис. 5. Различные виды газовых гидратов (белое) озера Байкал [28]:

A — порфировидные; *B, C* — массивные; *D* — скопления гранул;

E — гранулы и вертикальные слои-жилы;

F — слои и гидрат в виде цемента между ними (серый осадок между белыми слоями);

G — слои; *H, I, J* — жилы и прожилки различного залегания

Выводы

Очевидно, что различные виды газогидратных залежей (порфировидные, массивные, грануловидные, жилы, прожилки и т.д.), а также их перемешивание при формировании с илом и илистыми частицами будет предопределять возможные количественные параметры и основные режимы промышленных технологий их разработки.

Список литературы

1. Киселев В. Н., Рубвальтер Д. А., Руденский О. В. Инновационная политика в области нанотехнологий: опыт США и ЕС.
2. <http://www.allbest.ru>.
3. Алексенко А. Г. Нанотехнология как основа новой научно-технической революции / А. Г. Алексенко // Наука и технологии в промышленности — 2004. — № 3, 4. — С. 56–61.
4. Андриевский Р. А. Наноструктурные материалы / Р. А. Андриевский, А. В. Рагуля // Nanotechnology News Network, 2005.
5. Рынок нано: от нанотехнологий — к нанопродуктам. — М.: БИНОМ. — 2011. — 319 с.

6. Губин С. П. Магнитные наночастицы: методы получения, строение, свойства / С. П. Губин, Ю. А. Кокшаров, Г. Б. Хомутов, Г. Ю. Юрков // URL: <http://magneticliquid.narod.ru/authority/437.htm>.
7. Елисеев А. А., Лукашин А. В. Функциональные наноматериалы. Физматлит, 2010.
8. Суздалев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов, 2006. УРСС.
9. Разновидности наночастиц. URL: <http://prostonauka.com/nano/nanotehnologii-v-biologii-i-medicine/nanomaterialy/nanochasticy>.
10. Головин Ю. И. Введение в нанотехнику. Машиностроение, 2007.
11. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии, 2005. УРСС.
12. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам // Сборник статей под редакцией П. П. Мальцева. — М.: Техносфера, 2005.
13. Нанотехнологии в электронике // Под ред. Ю. Чаплыгина. — М.: Техносфера, 2005.
14. Рамбиди Н. Г., Березкин А. В. Физические и химические основы нанотехнологий. Физматлит, 2008.
15. Хавкин А. Я. Наноявления и нанотехнологии в добыче нефти и газа / Под ред. член-корр. РАН Г. К. Сафаралиева — Ижевск: ИИКИ, 2010. — 692 с.
16. Воробьев А. Е. Наноявления и нанотехнологии при разработке нефтяных и газовых месторождений. / А. Е. Воробьев, В. П. Малюков. — М.: РУДН, 2009. 106 с.
17. Воробьев А. Е. Аквазные залежи газогидратов: ресурсы и инновационные технологии освоения. / А. Е. Воробьев, Г. Ж. Молдабаева, Е. С. Орынгожин, Е. В. Чекушина — Алматы: КазНТУ, 2013. — 403 с.
18. Дядин Ю. А. Газовые гидраты / Ю. А. Дядин, А. Л. Гущин // Соросовский образовательный журнал, 1998. — № 3, — С. 55–64
19. Сергеев Г. Б. Нанохимия. — М.: МГУ, 2009.
20. Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности, 2008. УРСС.
21. Andrievsky G. V. et al. On the Production of an Aqueous Colloidal Solution of Fullerenes // J. Chem. Soc., Chem. Commun. — 1995. — P. 1281–1282.
22. Andrievsky G. V. et al. Colloidal Dispersions of Fullerene C60 in Water: Some Properties and Regularities of Coagulation by Electrolytes, The Electrochem. Soc. Interface, 195-th Meeting, Seattle, 1999.
23. Водный молекулярно-коллоидный раствор по меньшей мере одного гидратированного фуллерена // Патент RU 2213692.
24. Andrievsky G. V. Studies of aqueous colloidal solutions of fullerene c60 by electron microscopy // G. V. Andrievsky, V. K. Klochkov, E. L. Karyakina, N. O. Mchedlov-Petrosyan. Studies of aqueous colloidal solutions of fullerene c60 by electron microscopy. // Chem. Phys. Lett. — 1999. — P. 392–396.
25. Andrievsky G. V. FWS-molecular-colloid systems of hydrated fullerenes and their fractal clusters in water solutions. / G. V. Andrievsky, V. K. Klochkov, L. I. Derevyanchenko — The Electrochemical Society Interface (195-th Meeting, May 2–6, 1999, Seattle, Washington).
26. Ежи и наноструктуры. URL: <http://youege.com/vysokie-texnologii/ezhi-i-nanostruktury>.
27. Макогон Ю. Ф. Природные газовые гидраты: распространение, модели формирования, ресурсы / Ю. Ф. Макогон // Российский химический журнал. — 2003. — Т. 47. — № 3. — С. 70–79.
28. Клеркс Ж. Гидраты метана в поверхностном слое глубоководных осадков озера Байкал / Ж. Клеркс, Т. И. Земская, Т. В. Матвеева // Докл. РАН — 2003. — Т. 393. — № 6. — С. 822–826.

УДК 656.614.3.073.003

В. Д. Савчук,
канд. техн. наук, профессор,
Одесская национальная морская академия;

Е. Н. Клименко,
капитан,
«POSH FLEET SERVICES PTE LTD.»;

И. П. Крат,
ст. преподаватель,
Одесская национальная морская академия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ ПОГРУЖЕННОГО В ТРЮМ НАВАЛОЧНОГО ГРУЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ

THE CALCULATION OF THE WEIGHT OF THE BULK LOADED INTO THE HOLD WITH THE USE OF LASER RANGEFINDERS

В статье рассмотрены возможности использования лазерных дальномеров для точного определения бесконтактным способом уровня и конфигурации поверхности навалочного груза погруженного в трюм судна. Предложенная математическая модель, примененные методы конусов, кусочно-линейной аппроксимации с последующей экстраполяцией методом сеток позволяют с достаточной полнотой для безопасных транспортных перевозок на судах осуществить расчет объема и массы насыпного груза, а также определить его центр тяжести.

The article considers the possibility of using laser rangefinders for precise non-contact mode level and the configuration of the surface of the bulk cargo shipped in the hold of the vessel. The proposed mathematical model, applied methods of cones, piecewise linear approximation with subsequent extrapolation method grids allow with sufficient completeness for safe transport on ships, to carry out the calculation of volume and mass of bulk cargo, as well as to determine its center of gravity.

Ключевые слова: лазерные дальномеры, конфигурация поверхности груза в трюме судна объем и масса навалочного груза.

Key words: laser rangefinders, configuration of the surface of the goods in the hold, quantity and weight of bulk.

ТЕХНОЛОГИЯ безопасной перевозки навалочных и насыпных грузов была рассмотрена в трудах многих отечественных и зарубежных исследователей [1]–[3]. Математические модели оптимизации процессов загрузки балкеров и выбора оптимального варианта проведения грузовых операций на таких судах с целью обеспечения их мореходной безопасности предложены в работах [4]–[6]. Технологические приемы обеспечения сохранной перевозки цемента насыпью рассмотрены в работе [7], а расчеты удефферентовки балкера описаны в статье [8].

В настоящее время определение массы навалочного груза, который погружен в данный момент времени на судно, производится, как правило, по осадке. Это приводит к достаточно большой погрешности, особенно на открытых рейдах и акваториях портов, а расчет массы такого груза в каждом трюме с определением координат его центра тяжести в процессе проведения грузовых операций не осуществляется. Для решения такой задачи была разработана математическая модель, описывающая конфигурацию поверхности штабеля навалочного груза, которая образуется в процессе выполнения погрузочных операций. В математической модели использована триангуляция Делоне, а результаты моделирования изложены в работах [9], [10].

В настоящее время для замера расстояний до предмета могут быть использованы дальномеры следующих типов: ультразвуковые, фотоэлектрические, лазерные (такие, например, как Makita LD 060 P. Agatec Agatape, DIMETIX DLS-B 15, BOSCH DLE 50 Professional и др.).

Выполненные авторами статьи теоретические исследования и натурные наблюдения в реальных рейсах позволяют предложить для определения уровня поверхности навалочного груза в трюме судна лазерные дальномеры. Они с необходимой точностью и в постоянном режиме дают возможность определять высоту поверхности штабеля груза в трюме, что позволяет выполнять расчеты массы погруженного груза и координат его центра тяжести (ЦТ).

Лазерный дальномер (рулетка) BOSCH DLE 50 Professional размером не более мобильного телефона обладает высокой точностью измерения и многофункциональностью. Он быстро выполняет измерение длин, площадей и объемов на расстоянии до 50 м, имеет упорный штифт для крепления и измерения из труднодоступных мест, четкий дисплей, резьбу под штатив 1/4", резиновые накладки на корпусе, обладает высокой точностью измерений, простым и понятным интуитивным управлением.

Технические характеристики: диапазон измерения 0,05–50 м, точность измерения $\pm 1,5$ мм, минимальное время измерения 0,5 с, максимальное время измерения 4 с, лазерный диод 635 нм, < 1 мВт, класс лазерного излучения 2, защита от пыли и водяных брызг IP54; резьба штатива прямая 1/4", электропитание четыре батареи 1,5 В LR030 (AAA) или четыре аккумулятора 1,2 В KR03 (AAA), количество изменений с питанием от батарей около 30 000, размер: 100×58×32 мм, масса (включая батареи) 175 г.

В январе-феврале 2011 г. при погрузке в порту Ильичевск балкеров водоизмещением 170–180 тыс. т (т/х «FATHER S», т/х «JIMRICH», т/х «PIONEER PACIFIC») лазерными дальномерами BOSCH DLE 50 Professional были выполнены натурные экспериментальные замеры высоты поверхности груза железорудного концентрата (ЖРК). Удельный погрузочный объем груза (УПО) равен 0,43 м³/т. Измеренные расстояния в метрах от углов крышки трюма т/х «FATHER S», т/х «JIMRICH», т/х «PIONEER PACIFIC» до поверхности груза сведены в табл. 1. Результаты проведенных замеров (опытов) позволили по формулам, изложенным в [9], [10], определить конфигурацию поверхности грузов в трюмах, а также рассчитать их объемы и массу.

1. Т/х «FATHER S» (26 января 2011 г.). Судно загружали грузом ЖРК с использованием «парашютов» (металлические ящики грузоподъемностью 2–4 т). Трюм № 3: $L \times B = 24,5 \times 47,4$ м, люк по центру $L \times B = 15,5 \times 20,0$ м. Высота точки измерения над палубой трюма $Z = 25,8$ м.

Таблица 1

Измеренные расстояния в метрах от углов крышки трюма т/х «FATHER S», т/х «JIMRICH», т/х «PIONEER PACIFIC» до поверхности груза

Номер точки	X, град.	Y, град.											
		т/х «FATHER S»				т/х «JIMRICH»				т/х «PIONEER PACIFIC»			
		0	+15	+30	+45	0	+15	+30	+45	0	+15	+30	+45
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	14,8	15,3	16,9	21,3	23	21,9	22,5	25,3	14,2	13,3	14,5	17,8
	+15	15,3	15,8	17,2	21,2	22	20,5	19,8	21,9	13,2	12,1	12,4	15,5
	+30	16,8	17,4	19,3	22,3	22	19,8	18,6	20,0	14,2	12,5	12,4	14,5
	+45	20,7	21,3	22,2	25,2	25	21,8	19,7	19,8	21,1	16,2	15,1	15,8
2	0	14,8	15,3	16,9	20,6	23	21,5	21,6	24,4	14,1	13,5	13,5	15,8
	+15	15,2	15,7	17,6	21,7	21	19,8	19,1	21,1	13,2	12,3	12,4	13,9
	+30	17,3	17,5	18,7	22,6	22	19,6	18,1	19,0	14,1	12,5	12,3	13,7
	+45	20,7	21,6	21,8	25,7	25	22,6	20,0	20,6	21,2	16,9	15,2	16,6
3	0	14,8	15,2	17,2	21,3	22	23,4	22,4	22,9	12,4	11,9	12,7	19,1

Таблица 1
(Окончание)

3	+15	15,2	15,7	17,5	21,4	23	22,4	20,8	20,8	11,5	11,1	11,5	15,3
	+30	17,0	17,6	19,5	22,5	21	22,8	20,9	20,0	12,6	11,4	11,5	14,3
	+45	20,4	22,0	22,9	25,6	23	25,9	23,6	22,0	17,3	14,9	14,8	16,9
4	0	14,8	15,1	17,3	20,6	24	24,0	23,3	24,2	13,6	13,1	14,3	19,2
	+15	15,3	15,8	17,7	20,9	24	22,3	21,2	21,6	12,4	11,7	12,4	16,1
	+30	17,0	17,3	18,8	22,4	25	22,4	20,8	20,1	12,7	11,8	12,0	14,3
	+45	21,4	20,9	22,1	25,6	24	25,4	22,9	21,0	16,2	14,1	13,6	22,7

Примечание: X и Y – отклонение луча дальномера от вертикали по осям, град.

Объем груза, рассчитанный методом конусов, равен $10\,122\text{ м}^3$, его расчетная масса – 23540 т (рис. 1). Объем груза, рассчитанный методом аппроксимации тригонометрического полинома третьей степени с последующей экстраполяцией методом сеток, составил 7821 м^3 , расчетная масса груза – 18188 т (рис. 2). Объем груза, рассчитанный с использованием метода кусочно-линейной аппроксимации с последующей экстраполяцией методом сеток, составил 8014 м^3 , а его расчетная масса – 18637 т . В связи с тем, что в данном опыте была выполнена штивка груза под крышкой трюма, применение метода конусов нецелесообразно, так как он дает неверные результаты. Это легко обнаружить по конфигурации поверхности на рис. 1. Вычисление объема другими двумя методами дают результаты, которые отличаются на $2,5\%$. Если в качестве оценки объема принять среднее значение между этими двумя числами, то получим ошибку около 1% .

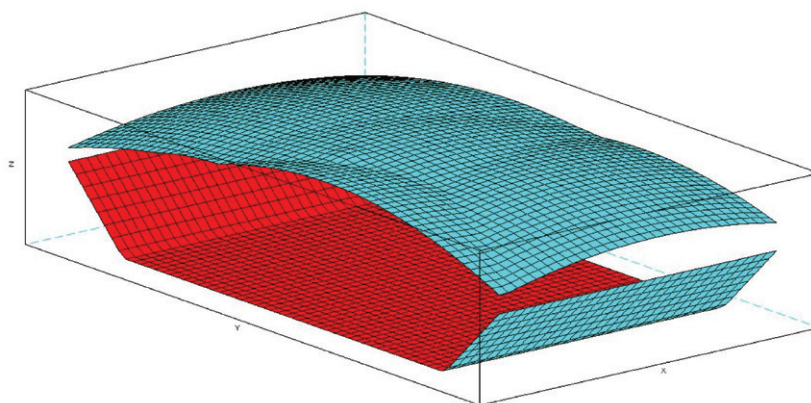


Рис. 1. Конфигурация поверхности груза, полученная методом конусов

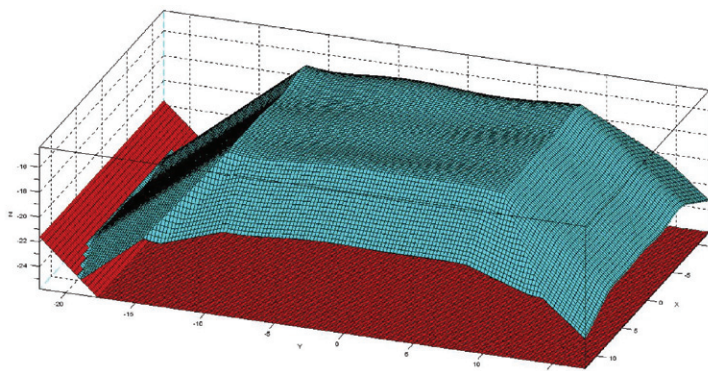


Рис. 2. Конфигурация поверхности груза, рассчитанная аппроксимацией тригонометрического полинома третьей степени с последующей экстраполяцией методом сеток

2. Т/х «JIMRICH» (31 января 2011 г.). Судно грузилось грузом ЖРК. Трюм № 5: $L \times B = 24,0 \times 42,0$ м, люк по центру $L \times B = 15,5 \times 20,0$ м. Высота точки измерения над палубой трюма $Z = 24,2$ м.

Выполнялись измерения для малого количества груза, когда он не достигал бортов и переборок трюма. В связи с малым количеством груза диапазоны углов лучей дальномера были уменьшены. В этом случае некоторые лучи не попадали на поверхность груза.

Объем груза, рассчитанный методом конусов, составил 1521 м^3 , а его масса – 3537 т (рис. 3). Объем груза, рассчитанный методом аппроксимации тригонометрическим полиномом третьей степени с последующей экстраполяцией методом сеток, равен 1515 м^3 , а его расчетная масса – 3523 т (рис. 4). Объем груза, рассчитанный методом кусочно-линейной аппроксимации с последующим экстраполяцией методом сеток, составил 1465 м^3 , а его расчетная масса – 3407 т.

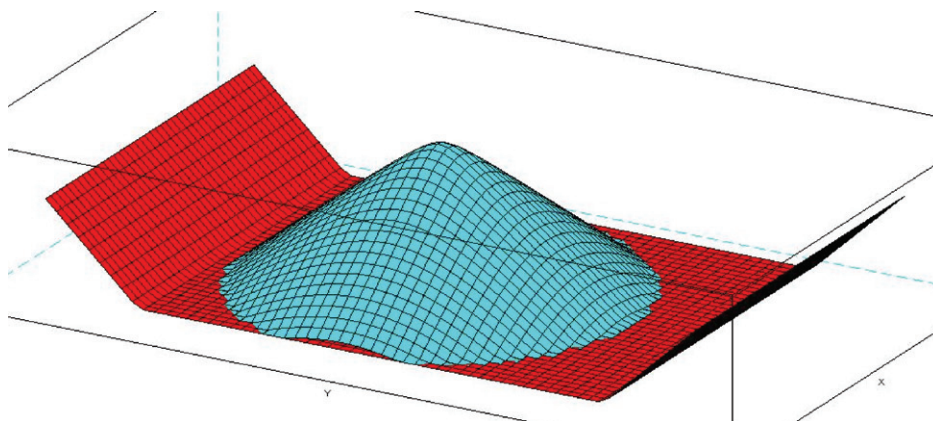


Рис. 3. Конфигурация поверхности груза, полученная аппроксимацией конусами

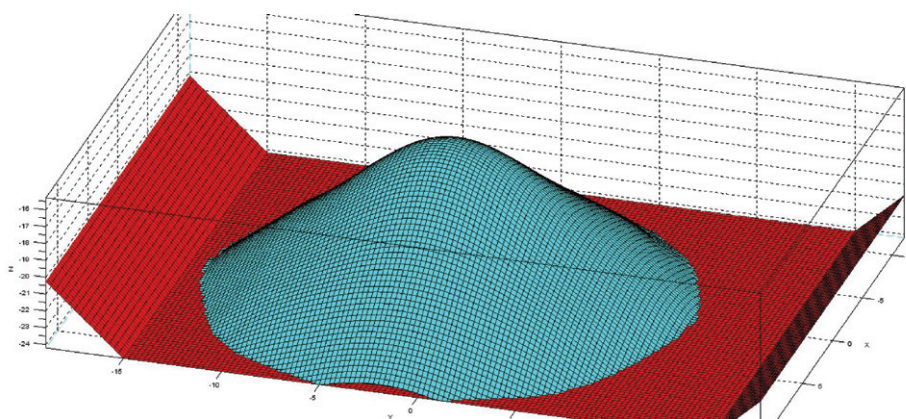


Рис. 4. Конфигурация поверхности груза, полученная аппроксимацией тригонометрического полинома третьей степени с последующей экстраполяцией методом сеток

В данном опыте, благодаря простой форме поверхности груза, первые два метода дают практически одинаковые результаты. Третий метод дает заниженную, примерно на 3 %, оценку объема, поскольку поверхность груза является выпуклой.

3. Т/х «PIONEER PACIFIC» (16 февраля 2011 г.) Судно грузилось грузом ЖРК. Трюм № 4: $L \times B = 25,0 \times 32,1$ м, люк по центру $L \times B = 14,2 \times 15,3$ м. Высота точки измерения над палубой трюма $Z = 20,6$ м.

Используя измеренные расстояния, а также методику, изложенную в [9], [10], были определены координаты точек на поверхности штабеля груза. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Рассчитанные координаты точек на поверхности груза

№ п/п.	X, м	Y, м	Z, м	№ п/п.	X, м	Y, м	Z, м	№ п/п.	X, м	Y, м	Z, м
1	-7,10	-7,65	-14,21	22	4,01	-4,56	-11,51	43	1,96	2,51	-8,89
2	-7,10	-4,19	-12,81	23	4,30	-1,62	-10,43	44	1,68	-1,72	-9,37
3	-7,10	-0,42	-12,52	24	4,50	2,03	-9,68	45	-5,11	7,65	-12,21
4	-7,10	4,94	-12,59	25	0,05	-7,65	-12,20	46	-3,31	4,85	-10,41
5	-3,68	-7,65	-12,74	26	1,00	-4,81	-10,56	47	-2,56	2,06	-9,66
6	-4,06	-4,61	-11,31	27	1,58	-2,13	-9,54	48	-2,68	-2,13	-9,78
7	-4,29	-1,59	-10,48	28	1,91	1,33	-8,98	49	-7,10	7,65	-13,55
8	-4,20	3,14	-10,79	29	-7,88	-7,65	-14,98	50	-7,10	4,27	-12,61
9	-0,08	-7,65	-12,29	30	-4,68	-4,49	-11,78	51	-7,10	0,52	-12,34
10	-1,03	-4,83	-10,51	30	-2,83	-1,91	-9,93	52	-7,10	-5,90	-13,55
11	-1,57	-2,12	-9,57	32	-2,49	1,94	-9,59	53	-3,87	7,65	-12,01
12	-1,62	1,82	-9,47	33	7,10	7,65	-12,43	54	-4,16	4,71	-10,93
13	7,79	-7,65	-14,89	34	7,10	4,57	-11,45	55	-4,29	1,60	-10,46
14	4,14	-4,63	-11,24	35	7,10	1,27	-11,03	56	-4,10	-3,51	-11,16
15	2,75	-1,95	-9,85	36	7,10	-5,83	-13,48	57	-0,76	7,65	-10,98
16	2,04	1,49	-9,14	37	4,12	7,65	-11,09	58	-1,37	4,99	-9,92
17	7,10	-7,65	-14,06	38	4,33	4,88	-10,33	59	-1,71	2,26	-9,32
18	7,10	-4,16	-13,02	39	4,49	2,03	-9,71	60	-1,71	-1,68	-9,33
19	7,10	-0,91	-11,66	40	4,24	-3,00	-10,65	61	4,34	7,65	-11,44
20	7,10	3,49	-11,14	41	0,81	7,65	-10,88	62	2,67	5,02	-9,77
21	3,68	-7,65	-12,75	42	1,55	5,07	-9,60	63	1,82	2,49	-8,92

Объем груза, рассчитанный после погрузки, равен 4750 м³, а его масса – 11 047 т.

Форму поверхности груза определяли по формулам, которые приведены в работах [9], [10], следующими методами.

1. Метод конусов. Аппроксимировали поверхность груза при количестве конусов m от 1 до 6. Такие выражения содержат $6m$ параметров, значения которых определяли методом Нелдера-Мида с минимизацией суммы квадратов отклонений. Объем груза, рассчитанный методом конусов (рис. 5), составил 4811 м³, погрешность определения объема 1,2 %.

2. Метод аппроксимации тригонометрическим полиномом третьей степени. Коэффициенты полинома вычисляли по формулам, предложенным в работе [10]. Рассчитанный этим методом объем груза составил 5174 м³, погрешность определения объема 9 %. Большая величина погрешности связана с тем, что точки измерения сосредоточены в основном, под крышкой трюма и велика погрешность экстраполяции.

3. Метод аппроксимации тригонометрическим полиномом третьей степени с последующей экстраполяцией методом сеток (рис. 6). Здесь принималось условие, что в зоне точек измерения уравнение поверхности определяется тригонометрическим полиномом, а за пределами этой зоны – дифференциальным уравнением с частными производными, которое решали с использованием метода сеток. Объем груза, рассчитанный этим методом, составил 4602 м³, погрешность определения объема 3 %.

4. Метод кусочно-линейной аппроксимации с последующим экстраполяцией методом сеток. Объем груза, рассчитанный этим методом, равен 4506 м^3 , погрешность определения объема 5 %.

Таким образом, находим подтверждение, что для определения объема навалочного груза, который погружен в трюм судна, можно рекомендовать метод конусов.

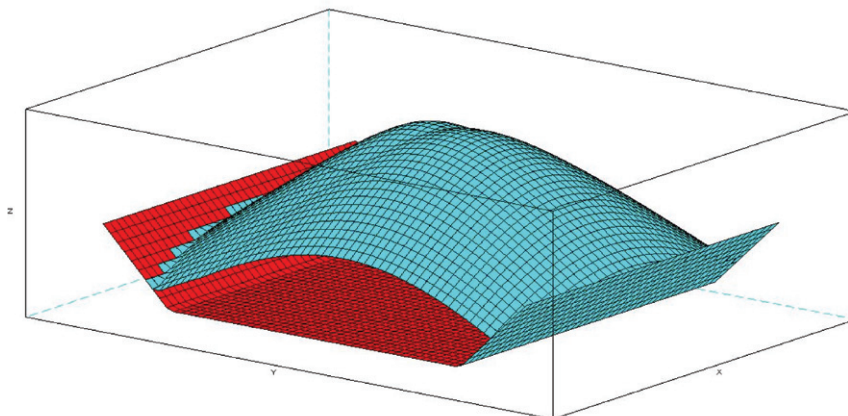


Рис. 5. Конфигурация поверхности груза, полученная аппроксимацией конусами

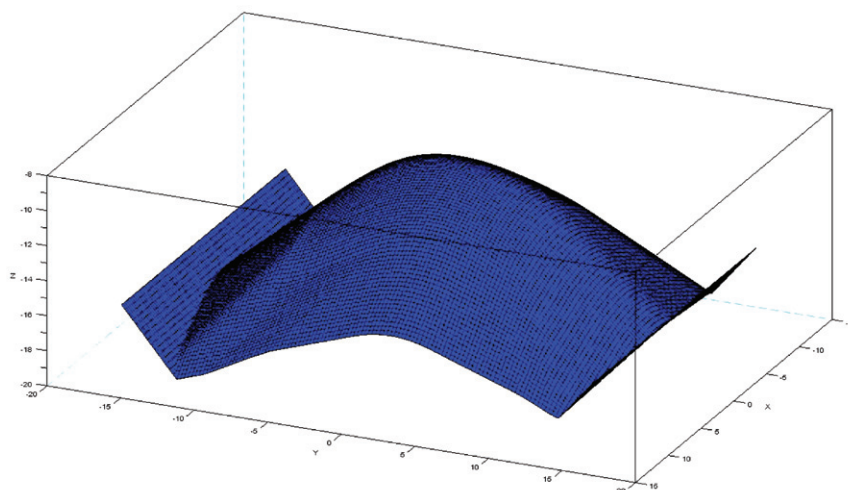


Рис. 6. Конфигурация поверхности груза, полученная аппроксимацией тригонометрического полинома третьей степени с последующей экстраполяцией методом сеток

Выводы

Из множества датчиков, применяемых для определения расстояния до объекта, для измерения расстояния до поверхности навалочного груза в трюмах во время загрузки судна предпочтительнее использовать лазерный дальномер (рулетку) BOSCH DLE 50 Professional с дальностью действия до 50 м и погрешностью измерения $\pm 1,5 \text{ мм}$.

При определении конфигурации поверхности навалочного груза во время или непосредственно после погрузки (до его штивки) рекомендуется использовать метод конусов, который позволяет получить наиболее точные результаты (погрешность 1–2 %). Другие методы более универсальны, но дают большую погрешность, величина которой зависит от точности исходных данных об угле естественного откоса погружаемого груза. Если угол естественного откоса задан с точностью $\pm 1^\circ$, то погрешность вычисления объема этими методами составляет 3–5 %.

Результаты исследований предполагают использование для разработки системы автоматического контроля процесса грузовых операций более точного определения массы груза, погруженного в трюмы в данный момент времени, а также ускорение обработки данных и расчета мореходных качеств судна с целью обеспечения безопасности мореплавания.

Список литературы

1. Барановский М. Е. Безопасность морской перевозки навалочных грузов / М. Е. Барановский. – М.: Транспорт, 1985. – 189 с.
2. Коробцов В. И. Морская перевозка насыпных грузов / В. И. Коробцов. – М.: Транспорт, 1977. – 187 с.
3. Tope I. E. Carriage of Bulk grain without temporary fitting / I. E. Tope // Naval Architect. – № 3. 1971. – P. 457–471.
4. Васьков Ю. Ю. Некоторые вопросы оптимизации грузовых операций навалочных судов / Ю. Ю. Васьков // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: Феникс. – 2003. – Вып. 6. – С. 40–45.
5. Цымбал Н. Н. Формирование оптимизационной задачи проведения грузовых операций навалочных судов / Н. Н. Цымбал, Ю. Ю. Васьков // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: Феникс. – 2004. – Вып. 7. – С. 3–9.
6. Цымбал Н. Н. Расчет границ множества допустимых стратегий проведения грузовых операций навалочных судов / Н. Н. Цымбал, Ю. Ю. Васьков // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: Феникс. – 2004. – Вып. 8. – С. 22–31.
7. Савчук В. Д. Обеспечение безопасной перевозки цемента насыпью на балкерах / В. Д. Савчук, Е. Н. Клименко // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: Феникс. – 2004. – Вып. 7. – С. 72–75.
8. Клименко Е. Н. Удифферентовка балкера при перевозке навалочных грузов / Е. Н. Клименко, В. Д. Савчук // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: Феникс. – 2005. – Вып. 10. – С. 63–66.
9. Клименко Е. Н. Математическая модель поверхности штабеля насыпного груза / Е. Н. Клименко, В. Д. Савчук // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: ИздатИнформ. – 2011. – Вып. 20. – С. 89–98.
10. Савчук В. Д. Аппроксимация поверхности навалочного груза кусочно-линейной функцией / В. Д. Савчук, Е. Н. Клименко // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: ИздатИнформ. – 2011. – Вып. 20. – С. 189–202.

УДК 528.422

Ю. Г. Фирсов,
канд. техн. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

М. В. Иванов,
инженер,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

Е. Н. Колосков,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

НОВЫЙ ЭТАП БАТИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕВЕРНЫХ АКВАТОРИЙ РОССИИ НА ПРИМЕРЕ КАРСКОГО МОРЯ

THE NEW STAGE OF THE RUSSIAN NORTHERN BASINS BATHYMETRIC INVESTIGATIONS - KARA SEA EXAMPLE

Рассмотрены вопросы гидрографического и батиметрического изучения северных морей России на примере Карского моря. Описаны этапы изучения рельефа дна, с 50-х годов XX века и полученные результаты. Отмечено, что с начала XXI века начался качественно новый этап изучения рельефа Карского моря, характеризующийся использованием многолучевых эхолотов, способных кроме батиметрической ин-

формации одновременно предоставлять сонарное изображение и изображение водной толщи. Продемонстрированы современные результаты площадной съемки, полученные с использованием гидрографических информационных систем QINSy/Fledermause, способных обеспечить высокую детализацию рельефа. При этом на фоне рельефа удается наглядно представить газовые эманации. Одной из ведущих тенденций применения современных гидрографических технологий является предоставление данных для обеспечения морских геологоразведочных работ.

The study examines hydrographic and bathymetric investigations of the Russian northern seas using the example of the Kara sea. It presents stages of seafloor relief studies since the 1950s and the obtained results. At the beginning of the 21st century an entirely new phase of bathymetric investigations began with the use of Multibeam Echosounders (MB). The software tools to process and analyze the bathymetry, and more recently to characterize the seabed from the backscatter, are available in a majority of modern sonar systems. Besides the bathymetry and sonar data, modern MB can produce water column images. The modern swath survey results from the Kara sea, achieved with Kongsberg EM2040CD MB and hydrographic information technology QINSy/Fledermause, are discussed. These hydrographic technologies provide the possibility to achieve a high level of the seafloor topography. The latest generation of hydrographic MB now has the ability to map the water column along with the seafloor. The gas seeps from multibeam water column data can be distantly discerned against the seafloor relief background with the aid of the Fledermause software package («FM Midwater» module). The ability to integrate the water column data with the seafloor and other information, in an integrated geospatial and temporal environment, enhanced the analysis and interpretation of the data which is essential for marine geological research and investigations. The gas-hydrate survey guidelines using MB and QINSy/Fledermause software are provided.

Ключевые слова: северные моря России, Карское море, съемка рельефа дна, многолучевые эхолоты, современные гидрографические технологии, QINSy, Fledermause, подводные ландшафты, газовые эманации, морские геологоразведочные работы.

Key words: Russian northern seas, Kara sea, multibeam echo sounders, hydrographic information technologies, QINSy, Fledermause, detailed seabed topography, bottom landscapes, gas seeps, marine geological research.

ПЛАНОМЕРНОЕ изучение рельефа дна северных морей России началось после Второй мировой войны силами Гидрографического предприятия Министерства морского флота СССР. Гидрографические работы были направлены главным образом на обеспечение безопасности мореплавания по трассам Северного морского пути (СМП). В 1950–70-е годы для гидрографических работ применялись фазовые радионавигационные системы («Координатор», «Поиск») и однолучевые эхолоты отечественного производства. Позже в 1980-е годы использовались зарубежные радионавигационные системы и однолучевые эхолоты типа «Atlas DESO-20».

Первоочередные работы в 1950-е годы проводились в южной части Карского моря и вдоль всех побережий. Итогом первого этапа этих работ стало создание комплекта морских навигационных карт различного масштаба. На основе анализа и обобщения материалов промера на кафедре «Гидрография моря» Ленинградского высшего инженерного морского училища имени адмирала С. О. Макарова совместно с Гидрографическим предприятием была составлена первая детальная батиметрическая карта, а также геоморфологическая карта Карского моря масштаба 1:1 000 000 [1]. Эти карты долгое время имели ведомственное использование и были недоступны широкой научной общественности.

На сегодняшний день комплект навигационных морских карт (НМК) на Карское море, изданных Управлением навигации и океанографии (УНиО) Министерства обороны Российской Федерации, включает более 200 единиц. При этом НМК масштаба 1:25 000 и крупнее включает всего 24 листа. Распределение НМК Карского моря по масштабам приведено ниже в таблице.

Масштабы навигационных морских карт Карского моря по состоянию на 2014 г.

Масштабы НМК Карского моря на 2014 г				
Виды НМК Масштаб	Морские планы 1:500–1:25 000	Частные карты 1:50 000–1:100 000	Путевые карты 1:100 000–1:1 000 000	Генеральные карты 1:1 000 000–1:5 000 000
Количество НМК	24	70	104	4

Анализ таблицы показывает, что основным видом НМК в Карском море являются путевые карты масштабов 1:150 000. Морские планы представлены в незначительном количестве и охватывают рейды порто-пунктов и полярных станций. Наибольшее внимание уделено трассам Северного морского пути от Карских Ворот до пролива Вилькицкого. В гидрографическом отношении наименее изучена северная часть моря и юго-западный район, включая Новоземельский трог с глубинами до 400 м. Следует отметить, что в связи с увеличением осадки современных судов, которые планируется использовать на трассах Северного морского пути, его гидрографическая изученность уже не удовлетворяет современным требованиям [2].

В 80-х годах XX века подразделения Главного управления геодезии и картографии СССР (ГУГК) приступили к проведению морских топографических работ, направленных на создание морских топографических карт шельфа в интересах народного хозяйства, главным образом для обеспечения морских геологоразведочных работ. Морские топографические работы выполнялись с использованием доступных в тот период времени технологий съемки рельефа на основе применения однолучевых эхолотов, гидролокаторов бокового обзора, а также высокоточных радиогеодезических систем. Морские топографические карты издавались в проекции Гаусса-Крюгера в стандартной разграфке в масштабах 1:25 000–1:50 000. Такие карты, не предназначенные для обеспечения безопасности мореплавания, показывали рельеф дна с максимально возможной детальностью. Кроме того эти карты включали дополнительную нагрузку в виде, например, гранулометрических параметров донного осадка, донной растительности, которые необходимы морским геологам и проектировщикам сооружений на дне.

Морская топографическая съемка были выполнена практически на всех морях СССР, включая юго-западную часть Карского моря. К сожалению, в начале 90-х годов XX века такие работы были полностью прекращены.

В 70-80-х годах XX века в арктических морях России развернулись широкомасштабные морские геологоразведочные работы. При этом практически все виды работ сопровождался промером глубин однолучевыми эхолотами. Научные организации, а также экспедиции Министерства геологии и Министерства газовой промышленности СССР накопили большие объемы батиметрической информации, главным образом по западному сектору Арктики, включая акваторию Карского моря. В частности, батиметрические материалы, полученные Морской Арктической Геологоразведочной экспедиций (МАГЭ), наряду с данными, имеющимися на НМК, во многом легли в основу представления рельефа дна на листах государственной геологической карты Российской Федерации (РФ) масштаба 1:1 000 000 [3].

При подготовке батиметрической части листов геологической карты учитывались схемы основных орографических элементов, основанных на результатах системно-морфологического анализа разнообразных отечественных и зарубежных карт рельефа масштаба 1:5 000 000 и крупнее [3]–[5]. В качестве границ орографических форм приняты линии перегиба поверхности дна: килевые, гребневые, выпуклого или вогнутого перегиба. Батиметрическая часть государственной геологической карты РФ хорошо демонстрирует макро и мезорельеф [6], однако с ее помощью невозможно получить сведения по микрорельефу дна.

В настоящее время результаты батиметрических исследований в Карском море представлены на листах геологических карт масштаба 1:1 000 000. Фрагмент батиметрической карты Карского моря, включающий район Новоземельского Трога (желоба), по данным листа геологической карты масштаба 1:1 000 000 представлен на рис. 1.

Последние десятилетия отмечены беспрецедентным развитием геоинформационных технологий и в том числе технологий съемки рельефа морских акваторий. Современная морская деятельность ставит задачи получения карт рельефа дна с точностями, сопоставимыми с рельефом суши и имеющиеся гидрографические технологии позволяют это обеспечить. Основу этих технологий составляют: высокоточное спутниковое позиционирование, гидроакустические средства площадной съемки рельефа и специализированное гидрографическое программное обеспечение [7].

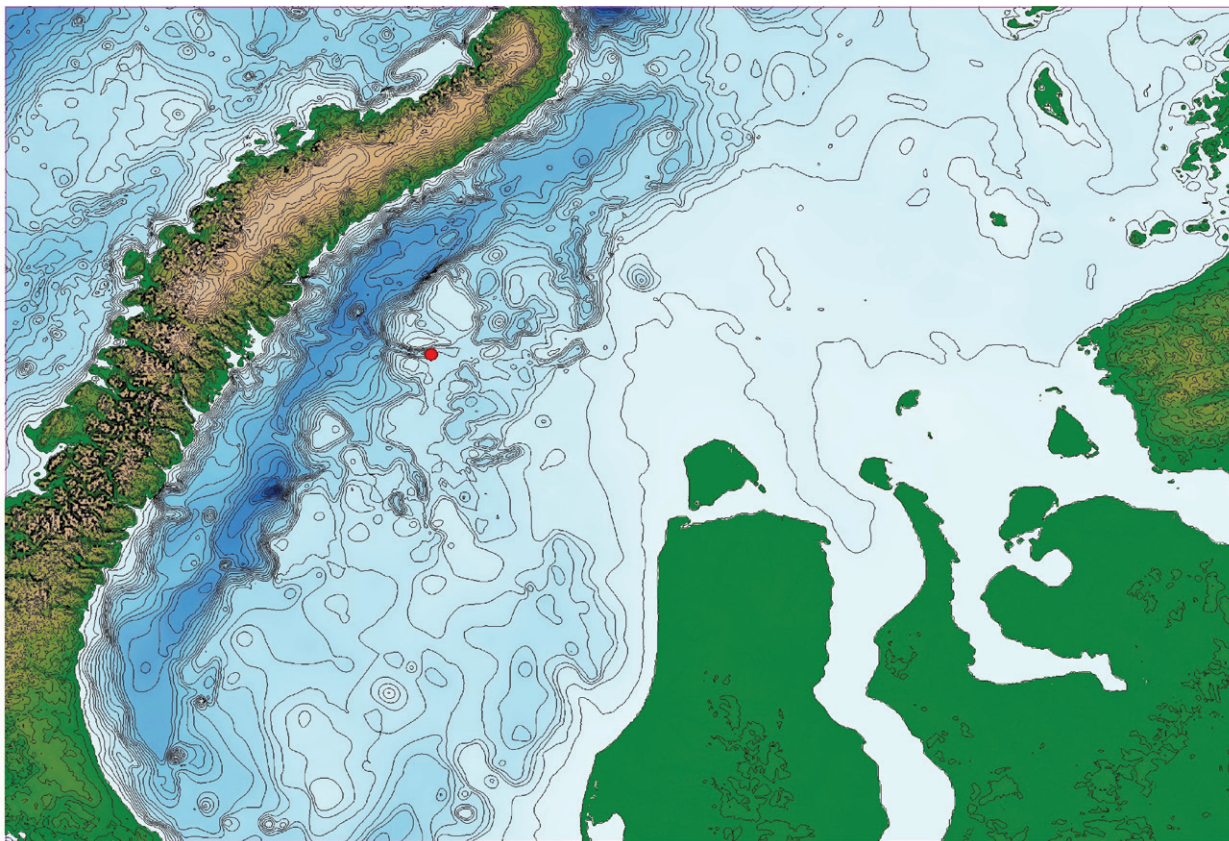


Рис. 1. Фрагмент батиметрической карты района Новоземельского трога с листа геологической карты масштаба 1:1 000 000 [4]

Особую актуальность в настоящее время приобретает гидрографическое программное обеспечение, реализованное в электронных гидрографических информационных системах (ЭГИС), без которых немислимо выполнение любых гидрографических работ.

В настоящее время на мировом рынке гидрографических технологий имеется целый ряд промышленных ЭГИС, среди которых следует выделить: QINSy (QPS), Hypack MAX (Hypack), Hydro Pro (TRIMBLE), EIVA (EIVA), SIS (Kongsberg), PDS-2000 (RESON), CARIS HIPS (CARIS) и др.

Каждая из указанных ЭГИС имеет свои особенности и оптимальным образом поддерживает определенные направления гидрографической деятельности. Наиболее универсальной является ЭГИС QINSy, направленная на решение задач промышленной гидрографии и выполнение съемок с использованием многолучевых эхолотов (МЛЭ).

Гидроакустические средства площадной съемки рельефа включают МЛЭ, эхотралы (ЭТ) и батиметрические гидролокаторы бокового обзора (БГБО) [7]. Современные МЛЭ четвертого поколения являются наиболее универсальной гидроакустической аппаратурой, способной обеспечить получение следующих данных:

- батиметрической информации в виде цифровой модели рельефа морского дна;
- сонарного изображения в виде опции гидролокатора бокового обзора, реализованной в МЛЭ и обеспечивающей получение интенсивности обратного рассеивания в пятне облучения на дне;
- изображение объектов в водной толще (модель акустического изображения водной толщи).

Одним из наиболее совершенных МЛЭ четвертого поколения является модель EM 2040C фирмы Kongsberg, поставляемая как в одно-, так и двухантенном варианте. Двухантенный вариант МЛЭ EM 2040C D при благоприятных гидроакустических условиях позволяет получить ширину полосы обзора 5–6 глубин.

На рис. 2 представлена схема соединений для двух антенного варианта МЛЭ модели EM 2040C D.

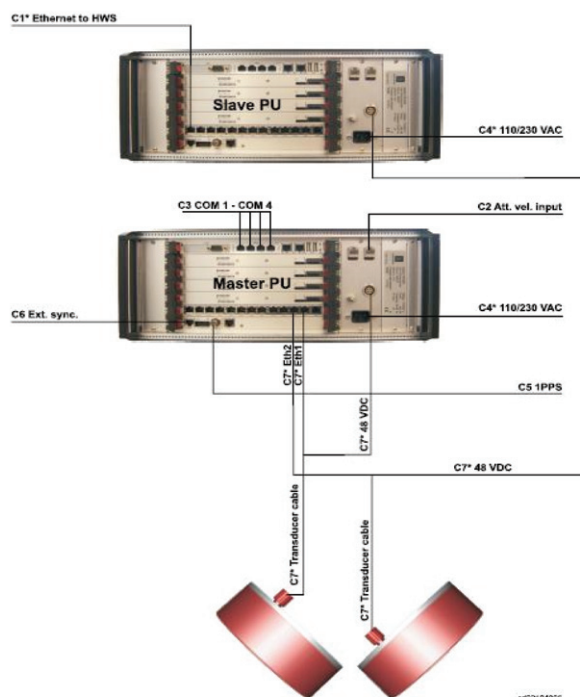


Рис. 2. Схема соединений многолучевого эхолота EM 2040C D (Kongsberg)

Многолучевой эхолот может эффективно работать только в составе сложного комплекса аппаратуры, включающей средства спутникового позиционирования (GNSS), датчик пространственной ориентации (IMU), датчик скорости звука на антенне (SV), а также датчик-профилограф скорости звука в воде (SVP). Существенным требованием является точная временная синхронизация всей аппаратуры (PPS). Требования контроля качества данных предусматривают также необходимость использования МЛЭ совместно с узконаправленным однолучевым эхолотом (ОЛЭ).

Функциональные возможности ЭГИС во многом определяют эффективность выполнения съемки, фактически осуществляя объединение всей аппаратуры в единый комплекс, обеспечивая управление. Схема подключения датчиков комплекса МЛЭ EM2040CD с ЭГИС QINSy представлена на рис. 3.

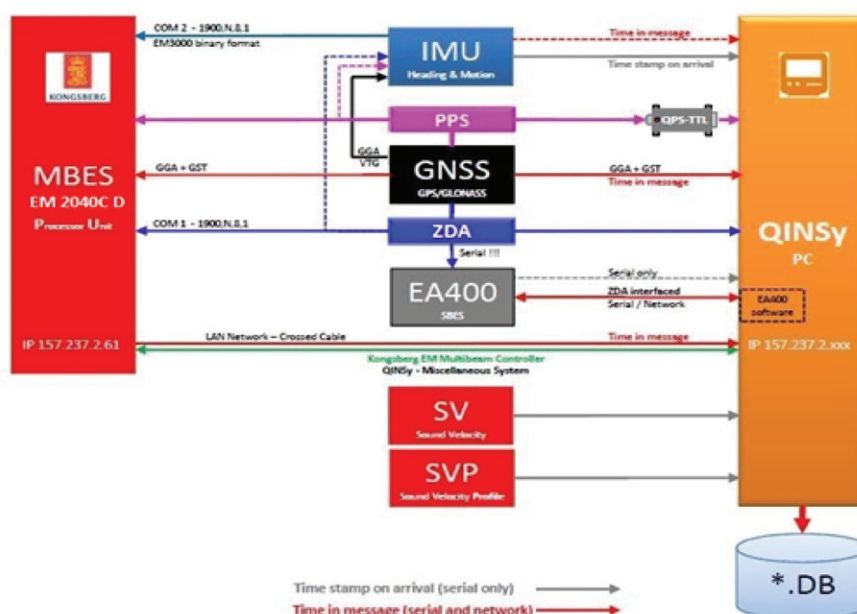


Рис. 3. Схема подключения датчиков комплекса МЛЭ EM2040CD для ЭГИС QINSy (QPS)

Использование ЭГИС QINSy фирмы QPS (Голландия) является оптимальным решением для обеспечения проведения современной комплексной съемки дна в интересах поддержки различных аспектов современной морской деятельности. ЭГИС QINSy позволяет одновременно получать как батиметрическую информацию для оперативной визуализации цифровой модели рельефа дна, сонарного изображения интенсивности обратного рассеивания дна, так и изображения объектов в водной толще.

Первоначально гидроакустическая технология визуализации водной толщи создавалась исключительно для целей традиционной гидрографии. Предполагалось, что данная технология позволит выявлять такие малоразмерные объекты, как сваи, оставшиеся после гидротехнического строительства, или, например, рангоут затонувших судов, чтобы надежно определять наименьшие глубины над ними. Зарубежная и отечественная практика использования многолучевых гидрографических комплексов показала существенно более широкий спектр применений.

Особое значение данная технология имеет для современной морской геологии, включая инженерные геологические исследования на акваториях, перспективных для разведки на углеводороды.

В настоящее время идет процесс интенсивного внедрения многолучевых гидрографических комплексов в практику морских геологоразведочных работ. Геологоразведочные суда оснащаются многолучевыми эхолотами, которые устанавливаются в стационарном, а также маневренном варианте.

Комплексная многолучевая батиметрия становится одним из основных методов морских геологоразведочных работ наряду с сейсмическими исследованиями и выполнением отбора проб грунта.

В последние годы в российских арктических морях существенно интенсифицируются морские геологоразведочные работы. В период 2011–2013 годов по заказам ОАО «НК Роснефть» в Карском море выполнено десять экспедиций. Летом 2013 года в Карском море по договору с ОАО «НК Роснефть» работала комплексная экспедиция ВНИИОкеангеология на НИС «Алдан».

Судно было оснащено многолучевым комплексом на базе МЛЭ EM 2040 C D (см. рис. 3).

Одной из задач экспедиционных работ наряду с батиметрической съемкой являлось выполнение съемки газовых эманаций в водной толще. По имеющемуся опыту работы в арктических морях газовые эманации приурочены к выходу метана в виде пузырьков газогидрата (газовых факелов). Площадная съемка выполнялась на участках, перспективных на углеводороды, которые были намечены на основе результатов сейсмических работ, выполненных в 2012 году. Район работ показан на рис. 1.

В многолучевом комплексе на базе МЛЭ EM 2040 C D использовалась ЭГИС QINSy. Осуществлялась регистрация батиметрии, сонарного изображения, а также изображения водной толщи.

На рис. 4 показаны окна первичных данных МЛЭ с изображением дна и водной толщи, получаемые в ЭГИС QINSy в реальном масштабе времени в момент нахождения судна над газовым проявлением. Газовые факелы (плюмы) газогидрата в водной толще на цифровом изображении, полученном от антенн левого и правого бортов, представлены вертикальными светлыми полосами. Требуется определенный опыт для идентификации таких «плюмов» и фиксации их планового положения с целью последующего выхода в точку газового проявления для взятия проб воды и донного грунта.

На рис. 5 дано изображение цифровой модели рельефа (ЦМР) дна реального времени, которое обеспечивается в ЭГИС QINSy. ЦМР представляет собой регулярную сетку глубин (грид). На глубинах 50–90 м размер ячейки грида может быть задан величиной 1×1 м. При этом возможно обеспечить такую высокую детальность отображения микрорельефа, которая ранее была недоступна. Получение достоверной информации по ЦМР с использованием средств площадной съемки связано с необходимостью выполнения требований контроля качества на всех этапах ее выполнения. Данный вопрос частично изложен в работе [8].

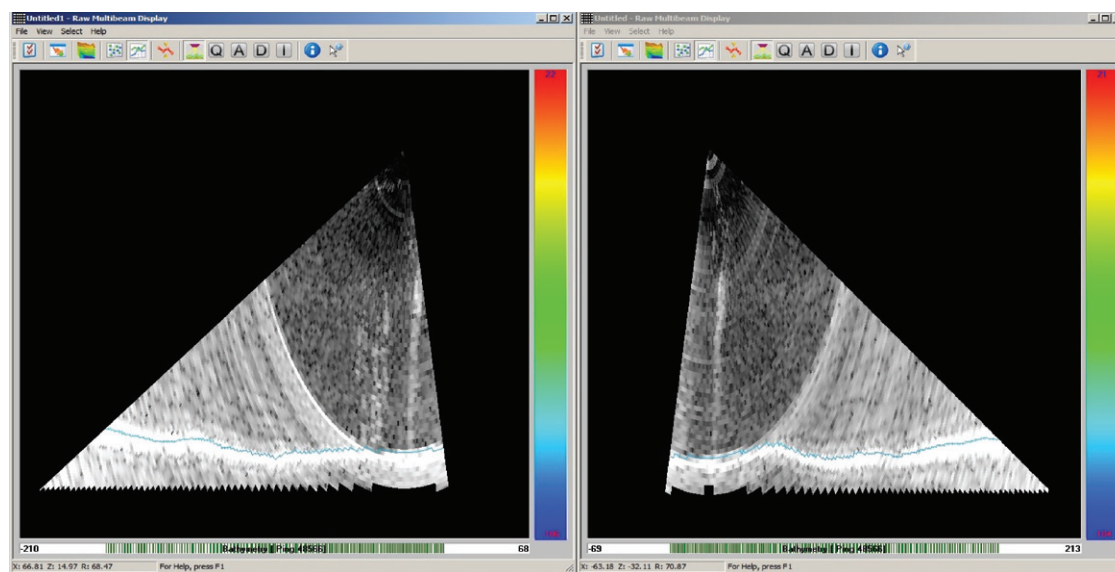


Рис. 4. Изображение водной толщи в окнах первичных данных МЛЭ, предоставляемых ЭГИС QINSy

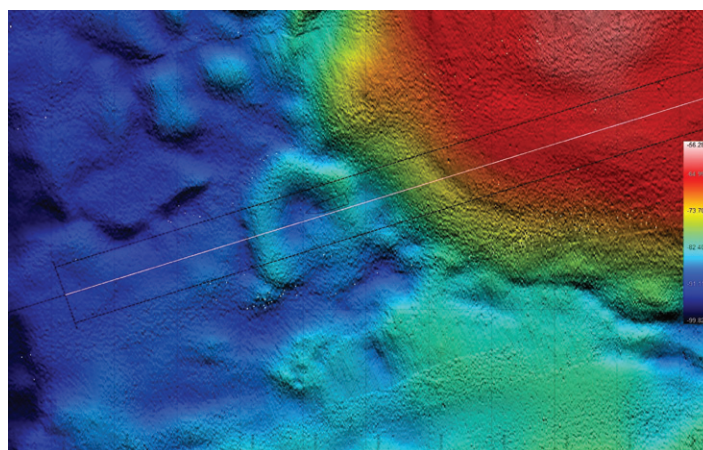


Рис. 5. Изображение цифровой модели рельефа дна в режиме реального времени в ЭГИС QINSy

Акватория работ включала Новоземельский Трог (желоб) в районе структуры «Университетская». При этом были зарегистрированы отдельные донные газопроявления. Положение донного газопроявления, представленного на рис. 3 и 4, показано на рис. 1 красной точкой.

Детальная площадная съемка рельефа позволила выявить новые, ранее неизвестные формы топографии морского дна, в том числе формы, приуроченные к донному газопроявлению.

По всей видимости донное газопроявление в районе структуры «Университетская» является выходом метана из толщи донных осадков, приуроченных к грязевулканическим структурам. Структуры имеют кольцевидную форму с небольшим (2–4 м) превышением и расположены по периферии подводной возвышенности, имеющей превышения 30–40 м относительно окружающего сравнительно плоского рельефа. Такие форм рельефа напоминают пинго (pingo) в русской классификации гидролаколиты или булгунняхи — это мерзлотные формы рельефа в виде куполообразных возвышений. Обсуждение геоморфологии данных структур морского дна выходит за рамки данной статьи.

В ЭГИС QINSy имеется довольно скудный инструментарий для работы с изображениями водной толщи. Опция «Water Column Inspector», реализованная в ЭГИС QINSy, позволят вручную оцифровать плоское изображение объекта в водной толще и оценить его высоту над дном.

Существенно большие возможности для работы с информацией водной толщи, зарегистрированной в файлах базы данных (*.db) ЭГИС QINSy предоставляет пакет трехмерной визуализации Fledermause [12].

Возможности пакета трехмерной визуализации Fledermause частично рассмотрены в работе [9].

В составе пакета имеется специальный модуль «MidWater», с помощью которого возможно выполнить поиск объектов в водной толще, осуществить их идентификацию и оцифровку в виде отдельного объекта, который может быть записан в файл формата *.sd (Scientific Data). Инструмент – трехмерная визуализация газовой эманации в среде программного пакета Fledermause при использовании модуля «MidWater» – представлен на рис. 6.

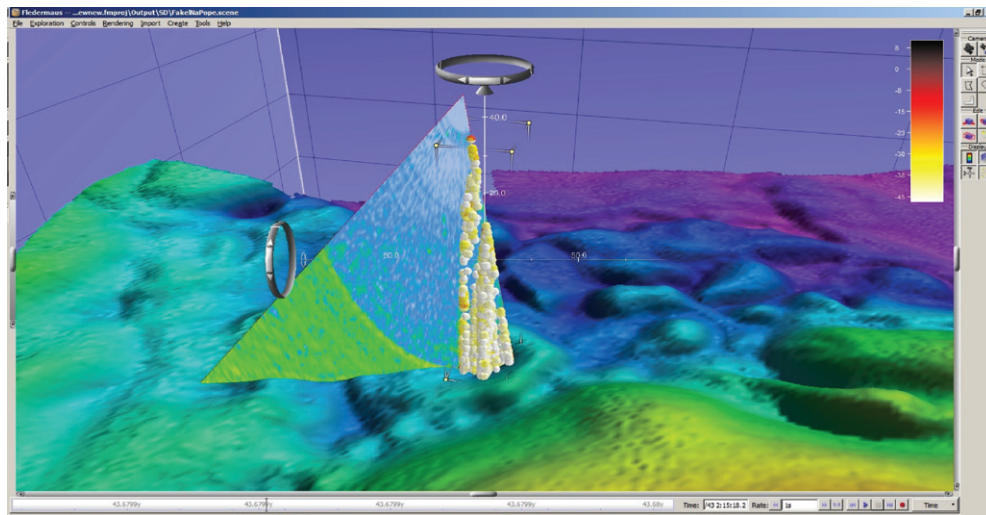


Рис. 6. Визуализация газовой эманации в среде программного пакета Fledermause (модуль MidWater)

В результате использования программного пакета «Fledermause» возможно выполнить регистрацию всех газовых эманаций (плюмов) на данной акватории, записав их в файлы формата *.sd. Следующим шагом является формирование ЦМР на рассматриваемой акватории с созданием файлов формата *.sd.

На основе набора объектов, включающих файлы плюмов и ЦМР формата *.sd, далее возможно создать общий файл сцены (файл с расширением *.scene), который обеспечивает интерактивную 3D / 4D визуализацию процесса, а также создание видеоклипов.

Трехмерное изображение плюма газогидрата в среде программного пакета Fledermause на фоне цифровой модели рельефа дна в районе структуры «Университетская» показано на рис. 7.

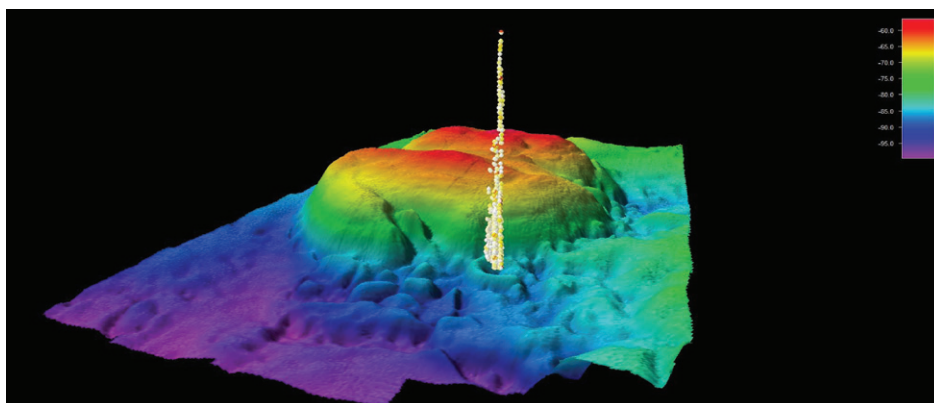


Рис. 7. Трехмерное изображение плюма газогидрата в среде программного пакета Fledermause на фоне цифровой модели рельефа

До недавнего времени поиски газогидратов на морском дне осуществлялись исключительно геофизическими методами с использованием средств сейсмоакустики, гидролокации бокового обзора (ГБО) в классическом варианте, а также путем взятия проб воды и донного грунта. Следует отметить, что данные ГБО не способны выявить наличие активных газопроявлений (плюмов), а только показывают их последствия в виде так называемых «поп-марков» — мест донной разгрузки, которая возможно уже давно закончилась. Вместе с тем, наличие «поп-марка» на сонарном изображении классического ГБО, а также сонарном изображении опции ГБО, реализованной в МЛЭ, позволяет подтвердить его положение на цифровой модели рельефа.

Сейсмоакустика на основе низкочастотных эхолотов-профилографов является наиболее эффективным средством, дополняющим данные, получаемые от многолучевой комплекс. При этом целесообразно использовать параметрические эхолоты-профилографы, позволяющие сохранять высокую производительность площадной съемки рельефа и водной толщи. Краткая информация по преимуществам применения параметрических эхолотов-профилографов приводится в работе [10]. Отметим, что современные программы окончательной обработки данных низкочастотных эхолотов позволяют создавать файлы формата *.sd, которые могут быть затем напрямую экспортированы в программный пакет «Fledermause».

Что касается выполнения прицельного отбора проб воды и донного грунта в местах активного газопроявления, то этот вопрос требует отдельного рассмотрения. По нашим данным, диаметры плюмов составляют максимально 30–50 м. При этом для успешного получения пробы необходимо использование гидроакустической навигационной системы с ультракороткой базой, а само устройство пробоотбора должно быть оборудовано маяком-ответчиком. Однако, даже при этом условии взятие пробы донного грунта на глубинах более 40–50 м становится практически невозможным, если судно не оборудовано системой динамического позиционирования. Данная система должна обеспечить возможность активного управления судном для его вывода в заданную точку с целью обеспечения взятия пробы внутри плюма. Это возможно с использованием 3D-визуализации реального времени, которое также поддерживается в программном пакете «Fledermause».

Интерактивная визуализация в 3D-файла сцены позволяет наглядно представить топографию дна на больших пространствах в тех районах, где это будет необходимо для решения инженерных задач. К таким задачам относятся гидрографическое обеспечение установки буровых платформ и создание инфраструктуры морских месторождений углеводородного сырья, включая операции по прокладке подводных трубопроводов и их последующего мониторинга.

Наборы «сцен» дают представление о подводных ландшафтах с такой детальностью, которая ранее не была доступна исследователям. При этом появляется возможность получения не только микрорельефа, но и нанорельефа — мельчайших форм рельефа в виде ям, валов, ряби на поверхности и отдельных камней, имеющих размеры, не превышающие первые метры.

Появление новых технологических возможностей современной электронной гидрографии открывает новый этап исследований северных морей России, который в большей мере связан с необходимостью обеспечения ресурсной, нежели транспортной составляющей. Этот этап характеризуется радикальным повышением детальности съемки рельефа и созданием цифровых моделей поверхности дна, верхнего слоя донных отложений, а также изучения донного газопроявления в рамках единой технологии площадной многолучевой гидроакустической съемки.

В 2014 году на структуре «Университетская» ОАО «НК Роснефть» установил самую северную в мире буровую платформу, и была получена первая нефть. Это месторождение названо «Победа».

В ближайшие годы предстоит освоение этого месторождения и создание его инфраструктуры. В этой связи вопрос о необходимости создания единой базы данных по свойствам строения морского дна, поставленный в работе [11], является крайне актуальным и требует незамедлительного решения.

Выводы

Современные средства гидроакустики совместно с гидрографическим программным обеспечением позволяют получать качественно новую информацию о микрорельефе и объектах в водной толще, полезную для многих направлений морской деятельности, включая морскую геологию и геоморфологию.

При выполнении площадной съемки с использованием современных многолучевых эхолотов на арктических акваториях всегда целесообразно регистрировать информацию о водной толще.

Необходимо создавать базы данных, содержащие не только цифровые модели морского дна на арктических акваториях России, но и информацию о донных газопроявлениях.

В связи с потеплением Арктики и интенсификацией газогидратных проявлений на шельфе арктических морей целесообразно выполнять акустическую съемку донных газопоявлений в качестве обязательного отдельного вида работ с использованием многолучевых комплексов и параметрических эхолотов-профилографов с последующей пост-обработкой данных на основе применения пакетов программ трехмерной интерактивной визуализации.

Список литературы

1. Мартынов В. Т. К вопросу обработки планшетов промера / В. Т. Мартынов // Ученые записки ЛВМУ. — 1957. — Вып. 6.
2. Решетняк С. В. Гидрографическая изученность подводного рельефа арктических морей России / С. В. Решетняк // Геодезия и картография. — 2006. — Вып. 4. — С. 57–61.
3. Геология и полезные ископаемые России: В шести томах. — Т. 5. Арктические и дальневосточные моря. Кн. 1. Арктические моря. // ред. И. С. Грамберг, В. Л. Иванов, Ю. Е. Погребницкий. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. — 468 с.
4. Бирюков В. Ю. Геоморфология дна Карского моря. Динамика арктических побережий России. / В. Ю. Бирюков, В. А. Совершаев. — М.: МГУ, 1998. — С. 102–105.
5. Мусатов Е. Е. Батиметрия и морфоструктура Баренцево-Карского шельфа / Е. Е. Мусатов // Геоморфология. — 1999. — № 1. — С. 69–74.
6. Никифоров С. Л. История развития рельефа шельфа Арктики и создания цифровой модели морского дна / С. Л. Никифоров, Д. Б. Островский, Ю. А. Павлидис, И. А. Мелезнев // Подводные исследования и робототехника. — 2007. — № 1 (3). — С. 66–75.
7. Фирсов Ю. Г. Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров: учеб. пособие / Ю. Г. Фирсов — СПб.: Нестор-ИСТОРИЯ, 2010. — С. 348.
8. Фирсов Ю. Г. Основные требования к обеспечению качества современной батиметрической (топографической) съемки / Ю. Г. Фирсов // Вестник ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — Вып. 3 (25). — С. 171–179.
9. Фирсов Ю. Г. Новые методы пространственной визуализации результатов инженерной батиметрической съемки / Ю. Г. Фирсов, И. В. Кожухов // Вестник ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — Вып. 2 (24). — С. 17–23.
10. Кожухов И. В. Северный регион Российской Федерации как зона экологического риска и новый технологический этап освоения Арктики. / И. В. Кожухов, Ю. Г. Фирсов, Н. Ю. Гордиенко // Эксплуатация морского транспорта. — 2013. — Вып. 2 (72). — С. 73–78.
11. Никифоров С. Л. О необходимости создания единой базы данных по свойствам строения морского дна / С. Л. Никифоров, Л. И. Лобковский, Е. А. Романкевич // Арктика: экология и экономика. — 2014. — Вып. 2 (14). — С. 31–35.
12. Gee L. New Tools for Water Column Feature Detection / L. Gee, L. McKenna, J. Beaudoin // Extraction and Analysis. Sea Technology. — 2014— October. — P. 27–30.

ПРИЧАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЗАПРАВКИ СУДОВ СЖИЖЕННЫМ ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ

MOORING FACILITIES FOR REFUELING OF VESSELS LIQUEFIED NATURAL GAS

Ресурс судового дизеля увеличивается, а эксплуатационные затраты уменьшаются при использовании в качестве моторного топлива природного газа. Практическое применение этого экологически чистого топлива затруднено отсутствием в настоящее время инфраструктуры для заправки судов природным газом. В статье представлены современная тенденция развития системы поставки и возможные технические решения заправки судов сжиженным природным газом (СПГ). Последнее предполагает максимальное использование отечественного оборудования, серийно выпускаемого для заправки автотранспорта. Приведены основные характеристики автогазозаправщиков. Рассмотрены типы конструкции набережной для различных гидрогеологических условий площадки в пунктах строительства причалов. Выполнена оценка размеров причального фронта, стоечного судна и стационарного причала в зависимости от длины расчетного судна. Показана зависимость удельных капиталовложений в строительство причальных устройств от технологии заправки и конструкции набережной.

Resource marine diesel engine is increased, and operational costs are reduced when used as a motor fuel, natural gas. The practical application of this environmentally friendly fuel is hampered by the current lack of infrastructure for refueling ships natural gas. The article presents the current trend of the development of the delivery system and the possible technical solutions supplying vessels with liquefied natural gas (LNG). The latter involves the maximum use of domestic equipment, serially produced for the refueling of vehicles. The main characteristics of car gas tankers. Considered the types of construction of the embankment for different hydrogeological conditions of the site in paragraphs construction of berths. To estimate the size berth, rack-mount vessel and a stationary mooring depending on the estimated length of the vessel. Shows the dependence of the specific investment in the construction of the mooring device technology, filling and construction of the embankment.

Ключевые слова: дизель, судно, сжиженный природный газ, заправка.
Key words: diesel engine, ship, liquefied natural gas, refueling.



СОВРЕМЕННОЕ развитие системы поставок СПГ предполагает его реэкспорт из существующих крупных терминалов и использование судов-бункеровщиков СПГ [1], [4], [7]. На рис. 1 представлены варианты системы поставки СПГ для судов-газоходов.

Сейчас для бункеровки СПГ газоход выводится из эксплуатации и в специально выделенное время направляется к газовому терминалу. В перспективе бункеровка СПГ судна-газохода должна быть организована аналогично схеме заправки судна нефтяным топливом. Для этого предстоит создать суда-бункеровщики СПГ и местные береговые хранилища СПГ с функцией заправочных станций, что необходимо и для судов-газоходов внутреннего плавания [8–10]. Примером могут служить проекты создания вдоль Рейна заправочных станций СПГ для судов-газоходов [12]. Технические условия на перекачку СПГ с берега на судно, с автогазозаправщика на судно и с судна на судно разрабатывает ISO [2].

Отечественными исследованиями установлено, что оптимальным вариантом причального сооружения стационарного причала является сплошная вертикальная набережная. Другие сооружения в виде отдельно стоящих причальных бычков и пал с устройством крепления откосов на набережной или вертикальной причальной набережной уменьшенной длины в сочетании с палами и устройством берегоукрепления имеют непродолжительный срок службы бычков и пал, значительные затраты по их капитальному ремонту [3].

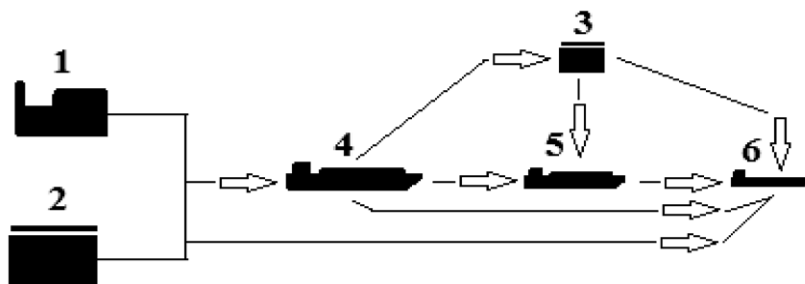


Рис. 1. Варианты снабжения судов-газоходов СПГ: 1 — завод по производству СПГ; 2 — терминал по приему и выдаче СПГ; 3 — местное хранилище СПГ; 4 — танкер-перевозчик СПГ; 5 — судно-бункеровщик СПГ; 6 — судно-газоход на СПГ

Тип конструкции набережной определяется гидрогеологическими условиями площадок в пунктах строительства причалов. Так, для песчаных, суглинистых грунтов, мягких глин и грунтов, позволяющих производить погружение железобетонных шпунтов и свай, применим бо́льверк из заанкерowanego железобетонного шпунта. Для твердых глин и плотных грунтов, не позволяющих производить погружение железобетонных шпунтов и свай, применим бо́льверк из заанкерowanego металлического шпунта. Для мергелей, твердых глин, песчаников, известняков, скальных пород и грунтов, не позволяющих погружение шпунтов и свай, применимы гравитационные набережные из колодцев-оболочек большого диаметра, собираемые с помощью кондуктора из плоских сборных железобетонных плит.

Стационарные причалы заправки судов СПГ включают два технических решения [6]:

- заправка от автогазозаправщика (рис. 2а), например, ЦТМ-8/0,25 или ЦТМ-25/0,8 (табл. 1) [11];
- заправка от береговой базы хранения (рис. 2б), размещенной в тыловой части причала.

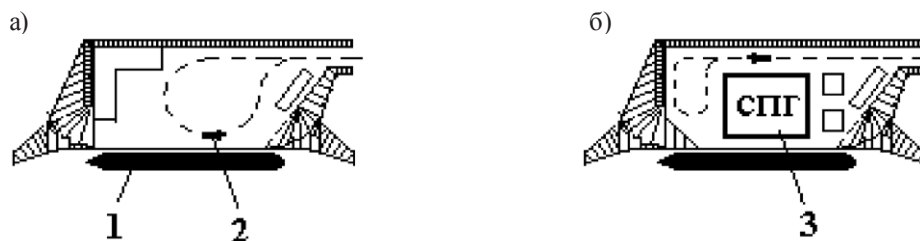


Рис. 2. Схемы заправки судов СПГ: а — от передвижного автогазозаправщика (2); б — от береговой базы хранения СПГ (3); 1 — судно-газоход

Таблица 1

Автогазозаправщики	ЦТМ-8/0,25	ЦТМ-25/0,6
Показатели		
Автомобиль-тягач	КрАЗ-250	КрАЗ-260В
Полуприцеп	-	ЧМЗАП-93861
Вместимость цистерны, м ³	7,38	27,8
Номинальное давление СПГ, МПа	0,25	0,6
Номинальная температура СПГ, К	108	
Максимальная масса перевозимого СПГ не менее, кг	2640	11200

Таблица 1
(Окончание)

Тип изоляции	Вакуумнопорошковая	экраннывакуумная
Расчетные потери СПГ, кг/ч (% в сутки) при: стационарном хранении транспортировке	0,9 (0,82) 2,7 (2,45)	0,83 (0,18) 2,5 (0,55)
Расчетное время бездренажного хранения полностью заправленной цистерны не менее суток при: стационарном хранении транспортировке	9,2 10,2	15 15

Постоянное изменение цен на материалы и оплату труда делает важным оценку динамики изменения затрат по сооружению причальных устройств для заправки судов СПГ. Удельные капиталовложения определяются отношением общих капиталовложений в строительство каждого причала к длине причала (причального фронта). Длина причальной набережной может составить 65–85 %, а причального фронта 110–120% от длины расчетного судна. Ширина акватории причала может соответствовать 3-кратной ширине расчетного судна.

При одинаковой высоте причальной набережной и длине причала максимальные удельные капиталовложения будут при использовании колодцев-оболочек, а минимальные — металлического шпунта (табл. 2). При одинаковой высоте причальной набережной с увеличением длины причала разница в удельных капиталовложениях существенно сокращается, поскольку в сметную стоимость строительства причалов включают затраты на выполнение подготовительных работ, доля которых будет сокращаться с увеличением длины причала [5].

Таблица 2

Технология заправки	Длина причала/ высота причальной набережной, м	Изменение удельных капиталовложений, %		
		Тип конструкции набережной		
		Металлический шпунт	Железобетонный шпунт	Колодцы- оболочки
Заправка от автогазозаправщика	58/10	100	112,9	161,4
	154/10	46,6	54,5	84,3
Заправка от береговой базы хранения, размещаемой в тыловой части причала	58/10	182,2	194,1	243,6
	154/10	80,6	88,4	119,4

Переход от непосредственной заправки автогазозаправщиком к заправке от хранилища газа на территории причала повысит стоимость устройства газозаправки. При равной длине причала и высоте причальной набережной доля затрат на выполнение подготовительных работ площадки строительства, образование акватории и территории причала, строительство объектов основного производственного назначения, включая строительство гидротехнических сооружений и устройств газозаправки, других объектов подсобного и вспомогательного назначения окажется выше, соответственно, повысится стоимость строительства причала. При этом характер изменения удельных капиталовложений при изменении длины причала сохранится.

Список литературы

1. Безопасное обращение с криогенными средами. Стандарт Австралии 1894 – 1976.
2. ISO 28460:2010. Нефтяная и газовая промышленность. Установки и оборудование для сжиженного природного газа. Взаимодействия судно-берег и операции в порту.
3. Нормы технологического проектирования портов на внутренних водных путях. Минтранс России. — М.: Гипроречтранс, 1997.
4. Производство, хранение и транспортировка сжиженного природного газа. Американский национальный стандарт ANSI/NFPA 59A. — США, 1985, 101 с.
5. РСФСР МРФ. Сборник нормативных показателей удельных капитальных вложений и эффективности капитальных вложений по отрасли «Речной транспорт». — М.: Гипроречтранс, 1989. — 53 с.
6. Техничко-экономическое обоснование применения газового топлива (сжиженного и сжатого газа) в отрасли речного транспорта РСФСР. — СПб.: СПГУВК, 1990.
7. ТУ 51-03-03-85. Газ горючий природный сжиженный. Топливо для двигателей внутреннего сгорания. — М.: ВНИИГАЗ, 1985.
8. Хлюпин Л. А. Автономность газохода / Л. А. Хлюпин // Исследование, проектирование и эксплуатация судовых ДВС: тр. СПГУВК. — СПб.: СПГУВК, 2008 — 415 с.
9. Хлюпин Л. А. Оценка безопасности использования природного газа на судах. / Л. А. Хлюпин // Материалы Международной НПК «Водный транспорт России: инновационный путь развития» 6–7 октября 2010 года.— Т. 2. — СПб.: СПГУВК, 2011 — С. 329–333.
10. Хлюпин Л. А. Природный газ на речном транспорте / Л. А. Хлюпин // Газовая промышленность. — 1992. — № 11. — С. 28–30.
11. Чириков К. Ю. Использование сжиженного природного газа на транспорте. / К. Ю. Чириков // Обз.-информ. серия «Криогенное и вакуумное оборудование», ХМ-6. — М.: Изд. ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1987. — 56 с.
12. Shell Launches LNG-Powered Barge on Rhine. [Electronic resource]/NGV Global News.- 20.03.2013.-Mode of access: <http://www.ngvglobal.com>

ЛОГИСТИКА И ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 628.511.001.57:656.62.073.28:689.46

Е. И. Адамов,
канд. техн. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Волжская государственная
академия водного транспорта»;

Н. С. Отделкин,
д-р техн. наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Волжская государственная
академия водного транспорта»;

С. Н. Сикарев,
канд. техн. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Волжская государственная
академия водного транспорта»

УСТРОЙСТВА, СНИЖАЮЩИЕ ПОТЕРИ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ ПРИ ПЕРЕГРУЗКЕ ГРЕЙФЕРНЫМИ КРАНАМИ

DEVICE REDUCES LOSSES IN BULK CARGO RELOADING GRABBING CRANE

В статье рассмотрены технические средства борьбы с пылью, снижающие потери перегружаемого сыпучего (пылящего) груза, и отрицательное воздействие пыли на окружающую среду при их перегрузке грейферными кранами. Отмечается, что борьба с пылью при перегрузке навалочных сыпучих грузов грейферными кранами и перегружателями является одной из важнейших задач в решении общей проблемы охраны окружающей среды. Предлагается разработанное новое бункерное устройство для обеспыливания навалочных грузов при помощи специального бункера с изменяющейся вместимостью, которое позволяет исключить имеющиеся недостатки.

The article describes the technical means of dust control, reduce loss-overloaded Retrieve bulk (dusting) of cargo, and the negative impact of dust on the environment when they are overloaded grab cranes. It is noted that dust control on overload bulk cargo grab cranes and reloaders is one of the biggest challenges in addressing common environmental problems. It is proposed to develop a new bunker dedusting device for bulk cargo with special silo with a capacity of changing, which eliminates the deficiencies.

Ключевые слова: пылеобразование, сыпучий груз, грейферный кран, потери сыпучего груза.

Key words: dust generation, bulk cargo, grab crane, loss of bulk cargo.

БОЛЬШУЮ часть объема (80–83 %) перевозимых водным транспортом грузов составляют сыпучие грузы, которые перевозят и хранят без упаковки, т.е. навалом. Фракционный состав ряда сыпучих грузов включает частицы размером до 2–3 мм. Грузы с таким фракционным составом выделяют в особую группу, так как их перегрузка сопровождается интенсивным пылеобразованием. В дальнейшем такие сыпучие грузы будем называть *пылящими*.

Основные транспортные характеристики сыпучих пылящих грузов, перевозимых водным транспортом, приведены в табл. 1, откуда видно, что фракционный состав приведенных грузов колеблется в пределах от 0,003 мм до 3 мм, что вызывает интенсивное пылеобразование при перегрузочных работах.

Таблица 1

**Основные транспортные характеристики сыпучих пылящих грузов,
перевозимых водным транспортом**

Наименование груза	Максимальный размер частиц, мм	Средний размер частиц, мм	Допускаемая влажность	Слеживаемость
Апатитовый концентрат	0,102	0,061	1,5	Да
Нефелиновый концентрат	0,02	0,095	0,3	Нет
Железородный концентрат	0,3	0,07	8...10	Нет
Серный колчедан	0,1	0,003	8	Да
Цемент	0,09	0,02	-	Да
Сода кальцинированная	0,037	0,007	-	Да
Комовая сера	3	0,1	-	Нет

Пылеобразование при перегрузочных работах с такими грузами приводит к их безвозвратным потерям в результате уноса взвешенных частиц воздушными потоками и отрицательному воздействию пыли на окружающую среду.

Основным критерием экологической безопасности технологии перегрузки пылящих грузов является предельно-допустимая концентрация (ПДК) запыленности воздуха рабочей зоны. Для большинства пылящих грузов, перевозимых водным транспортом, значения ПДК составляют 4–6 мг/м³ [1]. В табл. 2 приведены значения превышения ПДК запыленности воздуха в радиусе 10 м от места разгрузки грейфера с различными пылящими грузами [2], [3].

Таблица 2

**Превышение ПДК запыленности воздуха в радиусе 10 м
от места разгрузки грейфера**

Наименование груза	Превышение ПДК, раз
Пшеница	40–1000
Уголь	7–50
Руда	8–15
Суперфосфат	60–150
Хлористый калий	6–50
Комовая сера	20–50
Известняковая мука	До 1500
Апатитовый концентрат	500–700

Из табличных данных следует, что перегрузочные процессы пылящих грузов с применением грейферных кранов не обеспечивают выполнения санитарных требований по запыленности воздуха в зоне проведения перегрузочных работ. На речном и морском транспорте при перегрузке пылящих грузов их потери составляют: руда, уголь – 2,3 %, цемент, минеральные удобрения – 1–2 %, железородный концентрат, серный колчедан – 0,89 % [4], [5]. Указанные размеры потерь определены только от просыпей груза без учета потерь от пылеобразования и пылеуноса.

Особенно сильное пыление происходит при высыпании груза из грейфера. Это обусловлено кинетической энергией падающего груза, которая при его ударе о преграду (пол вагона или трюм судна, слой груза) тратится, главным образом, на уменьшение пористости разжиженного возду-

хом груза и на создание потоков воздуха, разносящих пыль. Для снижения запыленности воздуха в зоне разгрузки грейфера с пылящими грузами применяют различные бункерные устройства, существенным недостатком которых является вытеснение запыленного воздуха из бункерного пространства поступающим туда пылящим материалом при разгрузке грейфера. Чтобы устранить указанный недостаток, бункеры снабжают аспирационными системами, создающими в бункерном пространстве разрежение путем отсоса запыленного воздуха. Затем этот воздух очищается от пыли в циклонах и матерчатых фильтрах, после чего выбрасывается в атмосферу. Объем аспирируемого воздуха в час при загрузке бункеров грейфером составляет 500–1500 м³ [6]. На рис. 1 приведена конструкция бункера с аспирационной системой.

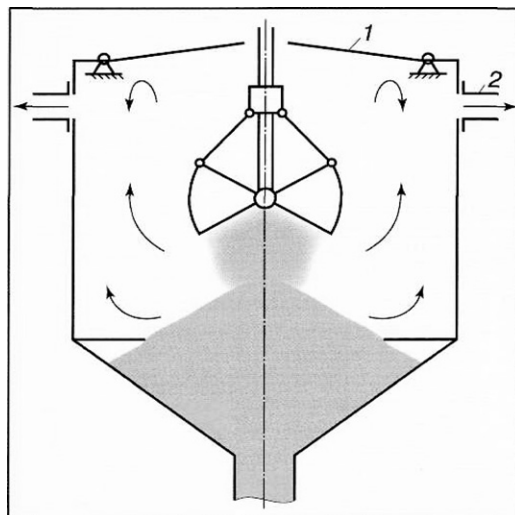


Рис. 1. Конструкция бункера с аспирационной системой (вертикальные створки не показаны):

1 – верхние горизонтальные створки; 2 – отсос запыленного воздуха

Таковыми бункерами снабжены отечественные грейферно-бункерные перегружатели ГБП-15 и ГБП-16, используемые при перегрузке апатитового концентрата [7]. Однако опыт эксплуатации позволил выявить недостатки в их конструкции. Как показали натурные замеры, в момент разгрузки грейфера в камере отмечается максимальная запыленность, концентрация пыли на уровне горизонтальных створок, расположенных в верхней части камеры, достигает 1,75 г/м³, что более чем в 22 раза превышает предельно допустимый выброс, величина которого для апатита составляет 80 мг/м³ [8]. На металлоконструкции грейфера, находящегося в аспирационной камере с максимальными значениями запыленности, оседает значительное количество апатитовой пыли, которая при переносе порожнего грейфера сдувается и разносится ветром. Кроме того, из-за выдержки порожнего грейфера в аспирационной камере в течение 30–60 с для отсоса из нее пыли снижается производительность ГБП-15. Исключить указанные недостатки при работе отечественных грейферно-бункерных перегружателей позволит специальный бункер с изменяющейся вместимостью [9], [10]. Для его применения из конструкции грейферно-бункерных перегружателей необходимо убрать шлюзовую камеру с приводными вертикальными и горизонтальными створками, подпружиненные жалюзи (створки), расположенные в верхней части конусного бункера, аспирационную систему, включая приводы, циклоны и фильтры.

Чтобы упростить конструкцию существующего бункерного устройства с рассмотренной ранее аспирационной системой, разработана конструкция бункера с изменяющейся вместимостью (рис. 2). Она состоит из нижней приемной части 1 и верхней подвижной части 2 с опорными стойками 13 для фиксации грейфера 6 и двумя створками 3, уравновешенными противовесами 5. Нижняя часть 1 бункера неподвижна и крепится к опорам 7, она снабжена двумя направляющими швеллерами 14, по которым между упорами 8 перемещается роликовая каретка 12, жестко соеди-

ненная с верхней подвижной частью 2, которая с помощью гибкого уплотняющего элемента 4 связана с нижней частью 1. К роликовой каретке 12 при помощи троса и блока 11 крепится противовес 9, перемещающийся в защитном кожухе 10.

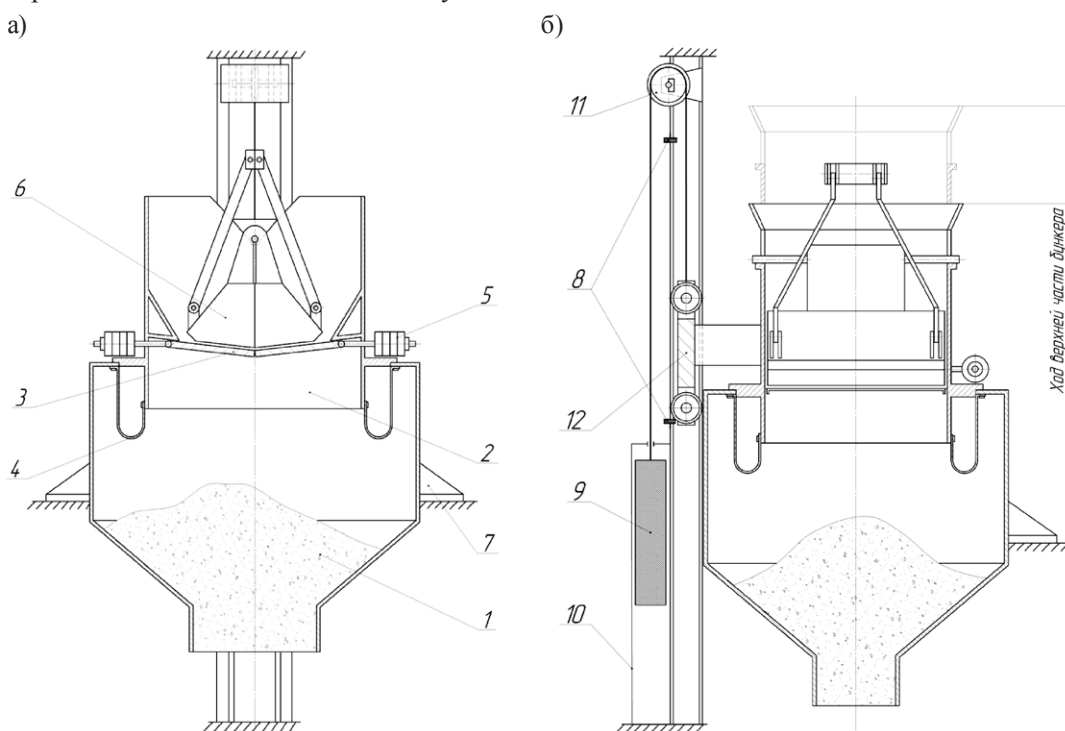


Рис. 2. Конструкция бункера с изменяющейся вместимостью:
а – вид спереди; б – вид сбоку

Устройство работает следующим образом. При посадке грейфера 6 на опорные стойки верхняя подвижная часть 2 опускается под действием сил тяжести грейфера с сыпучим грузом, что приводит к уменьшению вместимости бункера. При этом из бункера происходит вытеснение воздуха, но без пыли, которая успевает осесть внутри бункера после предыдущей разгрузки грейфера. В процессе разгрузки грейфера 6 противовес 9 под действием силы тяжести опускается, поднимая верхнюю подвижную часть 2 вместе с грейфером 6, тем самым обеспечивая увеличение вместимости бункера и создавая в нем отрицательное давление, что исключает вытеснение запыленного воздуха наружу.

После разгрузки грейфера 6 и удаления его со стоек, вместимость бункера принимает максимальное значение, что в еще большей степени гарантирует невытеснение запыленного воздуха.

Исследования эффективности пылеподавления бункера с изменяющейся вместимостью показали, что его применение позволяет снизить запыленность воздуха над бункером в 25...30 раз [7]. К преимуществам можно отнести увеличение производительности грейферно-бункерного перегружателя и снижение его энергопотребления. Конструкция специального бункера с изменяющейся вместимостью защищена патентом № 116133 РФ.

Список литературы

1. Бланк Ю. И. Борьба с пылеобразованием в морских портах / Ю. И. Бланк, В. Я. Зильдман, В. А. Чикановский // Морской транспорт. – 1984. – Вып. 552. – С. 24–29.

2. Сборник предельно-допустимых концентраций атмосферных загрязнений: сб. статей / отв. ред. В. А. Рязанов. – М.: Медгиз, 1955. – 120 с.
3. Отделкин Н. С. Сокращение потерь комовой серы при перегрузке грейфером / Н. С. Отделкин, Н. П. Гладков // Информационно-технический сб. ЦБНТИ МРФ. – 1989. – Вып. 4. – С. 23–25.
4. Поваров Г. С. Сокращение потерь грузов при транспортировке / Г. С. Поваров // Речной транспорт. – 1975. – № 2. – С. 29–40.
5. Сюхин Г. А. Снижать потери насыпных грузов при перевозке / Г. А. Сюхин, А. И. Телегин // Речной транспорт. – 1975. – № 1. – С. 31–35.
6. Вейсенберг Г. В. Исследование процесса и разработка параметров улавливания пыли диспергированной жидкостью на основе применения добавок химических веществ: дис. ... канд. хим. наук. – Караганда, 1982. – 168 с.
7. Бобровников Н. А. Охрана воздушной среды от пыли на предприятиях строительной индустрии. – М.: Стройиздат, 1981. – 98 с.
8. Сборник предельно допустимых концентраций атмосферных загрязнений / под ред. В. А. Рязанова. – М.: Медгиз, 1975. – 282 с.
9. Отделкин Н. С. Защита окружающей среды при перегрузке сыпучих грузов грейферно-бункерными перегружателями / Н. С. Отделкин, Е. И. Адамов // Безопасность жизнедеятельности. – 2009. – № 3. – С. 27–29.
10. Отделкин Н. С. Новая пылеподавляющая система для грейферно-бункерных перегружателей / Н. С. Отделкин, Е. И. Адамов // Подъемно-транспортное дело. – 2008. № 6. – С. 8–10.

УДК 338.47

П. Е. Железкова,

аспирант,

ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

В. Г. Никифоров,

д-р техн. наук, профессор;

ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ГРУЗООБОРОТ ПОРТОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА РОССИИ НА БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

GARGO TURNOVER PORTS OF NORTHWEST REGION RUSSIA ON THE BALTIC SEA

Рассматривается характеристика развития портовой инфраструктуры России на Северо-Западе Балтийского моря. Проведен сравнительный анализ по грузообороту нефти и угля, а также по контейнерообороту между портами Финляндии, стран Балтии и России. Представлены диаграммы и таблицы, на основании которых четко просматривается разница грузооборотов портов России, Финляндии и стран Балтии. Показано, что несмотря на ранжирование и специализацию портов, по всем направлениям грузооборота ведущее место занимает Северо-Западный регион Российской Федерации, затем Финляндия и страны Балтии. Отмечается, что особое место занимают нефтеналивные грузы, транспортировка которых ведется из портов Северо-Западного региона России в связи со строительством на данной территории новых нефтеналивных терминалов, таких как наиболее мощный и модернизированный на данный момент порт Усть-Луга, а также обустройством терминальных зон и усилением технической оснащенности причалов с целью выхода Российской Федерации в число лидеров на международном рынке морских грузоперевозок.

This article is dedicated to the characteristics of the Russian port infrastructure in the North West of the Baltic Sea. A comparative analysis of oil and coal cargo turnover as well as container turnover between the ports of

Finland, the Baltic countries and Russia was carried out. This article presents the charts and tables, which clearly state the visible difference in turnovers of the ports of Russia, Finland and the Baltic countries. It is shown that despite the ports ranking and specialization, the North West region of the Russian Federation takes the lead in all the turnover directions, followed by Finland and the Baltic countries. It is emphasized that oil cargo takes a special place; its transportation is conducted from the ports of the North West region of Russia, since new oil terminals are being built on this territory such as Ust-Luga port, which is the most powerful and modernized port at the moment. Along with this, the terminal areas are being developed and moorings technological infrastructure is being strengthened in order to make the Russian Federation one of the leaders in the international cargo transportation market.

Ключевые слова: портовая деятельность, портовая инфраструктура, терминалы, грузооборот, контейнерооборот, экономическое развитие, инвестиции.

Key words: port operations, port infrastructure, terminals, cargo turnover, container turnover, economic development, investment.

СЕМЬ портов России в Балтийском море (Большой порт Санкт-Петербург, Пассажирский порт Санкт-Петербург, Приморск, Высоцк, Выборг, Усть-Луга и Калининград) по суммарному объему перерабатываемых грузов занимают первое место (с долей 34,7 % по итогам 2012 г.) среди портов других морских бассейнов России. Порты на Балтике пока сохраняют лидерство. Этому способствует близость к наиболее развитым промышленным районам России и одновременно к европейским странам.

Отличительной характеристикой развития портовой инфраструктуры на Северо-Западе России является расширение действующих и интенсивное развитие новых портов – Усть-Луга, Приморск и Высоцк [1]. Основные предпосылки для увеличения мощности портов Балтийского моря таковы: Усть-Луга построит комплекс по перевалке нефти (38 млн т в год), комплекс по перевалке нефтепродуктов (16 млн т) и контейнерный терминал (10 млн т), Санкт-Петербург создаст многофункциональный морской перегрузочный комплекс «Бронка» (27,6 млн т в год) и контейнерный терминал (13,2 млн т), Приморск построит терминалы для перевалки контейнеров, металлов, железорудного сырья, минеральных удобрений и нефтепродуктов (43 млн т).

Актуальным вопросом является определение тенденций и перспектив развития транспортной инфраструктуры как основы формирования транспортной системы стран региона Балтийского моря. Результаты экономического развития стран Балтии не позволяют им занять ведущие позиции в региональной интеграции. В отличие от Северной Европы, в этих странах не сложилась деловая элита, аккумулирующая крупные капиталы и размещающая их в интересах наций. Найти свою нишу в международном разделении труда по примеру соседей странам Балтии до сих пор не удалось. Этим и объясняются трудности их экономического развития. Именно страны Северной Европы призваны играть активную роль в формировании модели экономического развития, так как по уровню ВВП они близки друг к другу [2]. Основной грузооборот в странах Балтии, России и Финляндии приходится на нефть, уголь и контейнеры.

Портовая деятельность является стратегическим фактором развития экономики государства и одним из ключевых звеньев функционирования транспортной системы [3]. В российских портах Балтийского моря стремительно расширяются существующие контейнерные мощности и строятся новые. Неравномерный рост терминалов дополняется слиянием и перераспределением контейнерных активов, что ведет к изменению структуры собственности российских контейнерных мощностей, изменению картины их конкуренции как между собой, так и с терминалами соседних стран Финляндии и Балтии, а также к перераспределению финансовых потоков [2].

Крупнейший контейнерный порт на Балтийском море, которым неизменно является Санкт-Петербург, в 2013 г. удержал свои позиции. Это первый подобный случай со времен рецессии 2009 г., с тех пор в Санкт-Петербурге каждый год отмечалась положительная динамика оборота контейнеров (рис. 1).

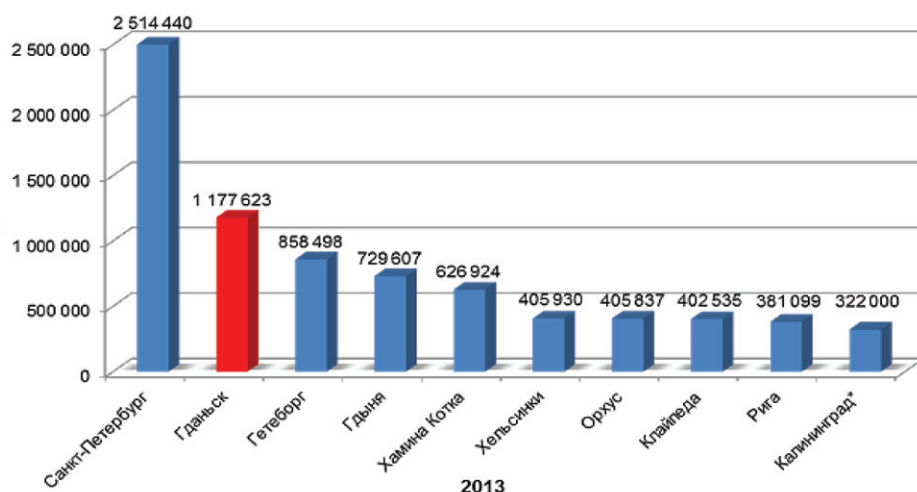


Рис. 1. Контейнерооборот портов стран Балтийского моря в 2013 г., TEU

Именно показатели 2013 г. подтвердили тенденцию увеличения оборота контейнеров на Балтике: 10 крупнейших Балтийских контейнерных портов перегрузили в 2013 г. 7,8 млн. TEU, что на 3 % превысило эти показатели по сравнению с 2012 г. Расширение российских контейнерных мощностей на Балтике влечет за собой рост конкуренции с соседними терминалами Финляндии и стран Балтии, многие из которых в течение длительного периода времени были ориентированы на поток контейнерных грузов, следующих в Россию. Примеры изменения соотношения сил российских и зарубежных терминалов в регионе приведены в табл. 1.

Таблица 1

Контейнерооборот в портах Балтийского моря, TEU

Порт	Грузооборот, TEU		Изменение, TEU	Изменение, %
	Январь – июль 2013	Январь – июль 2014		
Санкт-Петербург	1 469 833	1 396 376	-73 457	- 5,00
Усть-Луга	29 361	61 731	32 370	110,25
Калининград	183 837	212 130	28 293	15,39
Итого по портам РФ	1 683 031	1 670 237	-12 794	- 0,76
Клайпеда	229 444	253 496	24 052	10,48
Рига	216 316	218 135	1 819	0,84
Таллинн	149 943	154 527	4 584	3,06
Лиепая	2 965	2 177	-788	- 26,58
Хельсинки	213 293	204 500	-8 793	- 4,12
Хамина	377 134	344 100	-33 034	- 8,76
Итого по портам Финляндии и стран Балтии	1 189 095	1 176 935	-12 160	- 1,02
Разница контейнерооборота Российских портов и портов Прибалтики и Финляндии	493 936	493 302	-634	- 0,13

При сравнении портов России, стран Балтии и Финляндии по объему контейнерооборота наблюдается тенденция увеличения именно в портах Северо-Западного региона РФ и эта разница значительна. Работоспособность и стабильность жизнедеятельности российских портов на Балтийском море зависит от высокой доли в их грузооборотах перевалки нефти, нефтепродуктов и угля, осуществляемых по долгосрочным контрактам через терминалы, непосредственно принадлежащие владельцам грузов (например, терминала ОАО «Ростерминалуголь» в Усть-Луге или порта Приморск, ориентированного на прием нефти из магистрального нефтепровода и непрерывного процесса перевалки нефти на экспорт [4]).

Россия увеличила экспорт нефти на Балтике после запуска трубопровода БТС-2 до порта Усть-Луга. Порты стран Балтии увеличили объем перегрузки российских внешнеторговых грузов, в том числе выросли объемы перевалки угля +13,4 %, минеральных удобрений +26,8 % и наливных грузов +2,8 %. Трудно не заметить негативной тенденции – отечественные грузы продолжают уходить к иностранным стивидорам. В этой связи интересна динамика роста оборотов Таллинского порта. Крупнейшему порту стран Балтии осталось немного, чтобы достигнуть своего пика, зафиксированного в первом полугодии 2007 г., равного 21,7 млн. т. Падение оборота Таллинского порта было наибольшим в странах Балтии (-31,9 %), в результате в первом полугодии 2008 г. Таллинский порт уступил свои лидирующие позиции Клайпедскому (15,82 млн т) и Вентспилскому (14,95 млн т) портам. По итогам первого полугодия 2011 г. Таллинский порт вновь занял устойчивое лидерство на побережье стран Балтии. При этом на рост грузооборота оказал существенное влияние рост перевалки наливных грузов – 14,3 млн т (+15 %). Рижский свободный порт и Вентспилский порт также существенно увеличили перевалку нефтепродуктов: 4,28 млн т (+42,5 %) и 7,44 млн. т (+3 %) соответственно за период 2012–2013 гг.

Российская нефть идет, главным образом, из европейских портов, и маршруты ее перевозки пролегают в самых оживленных судоходных районах в мире. Несмотря на некоторое снижение объемов перевалки нефтеналивных грузов, общая тенденция увеличения поставок черного золота из портов Северо-Запада сохраняется [5]. Так, если объем перевалки сырой нефти в морских портах России в 2012 г. снизился на 1,5 % – до 128,4 млн т, то объем перевалки нефтепродуктов российскими портами увеличился на 3,5 % – до 73,3 млн т. Перевалка нефтеналивных грузов портами Приморск, Усть-Луга, Высоцк и Санкт-Петербург (Выборг нефтеналивом не занимается) увеличилась на 12,6 % – до 69,2 млн т. Объем перевалки порта Приморск (специализируется только на нефти и дизельном топливе) превысил 44,3 млн т, что на 1 % больше объема за аналогичный период 2013 г. Перевалка нефти составила 41 млн т (на 1 % больше), дизтоплива – 3,3 млн т (на 3 % меньше).

Порт Усть-Луга начал перевалку нефти только в 2012 г. и за семь месяцев было погружено 5,2 млн т. Нефтепродуктов Усть-Лугой переработано на 173 % больше, чем за аналогичный период прошлого года (7,1 млн т). Порт Высоцк переработал нефтепродуктов на 9 % меньше (5,8 млн. т). Порт Санкт-Петербург переработал 6,8 млн т нефтепродуктов, что на 20 % меньше, чем за аналогичный период 2013 г. Рекордные объемы российской нефти вывозятся из портов Балтии в Средиземноморье, компенсируя сокращение экспорта из стран Ближнего Востока. По данным трейдеров испанская Repsol покупала 210 тыс. баррелей в сутки из портов Приморск и Усть-Луга, в том числе 140 тыс. баррелей в сутки для НПЗ (нефтеперерабатывающий завод) на Средиземноморском побережье и 70 тыс. баррелей в сутки для завода в Бильбао. Италия импортировала 70 тыс. баррелей в сутки Urals из балтийских портов через Триест, Геную и Милаццо. Еще около 50 тыс. баррелей в сутки российского сырья из Приморска трейдеры отправляли на заводы в Карибском бассейне (табл. 2).

Таблица 2

Структура грузов портов Балтийского моря в 2013 г. (тыс. т)

Вид	Приморск	Санкт - Петербург	Усть - Луга	Кали- нинград	Клай- педа	Рига	Тал- линн	Вент- спилс	Лие- пая	Всего
Нефте- продукты	4 998	15 671	6 478	4 665	9 138	7 519	25 212	14 458	404	98 763
Сырая нефть	70 127	-	-	1 113	-	-	951	38	103	72 332
Удобре- ния	-	6 036	-	345	11 613	1 705	1 804	2 811	-	24 314
Грузы РО - РО	-	692	919	1 052	4 914	556	3 690	1 888	407	14 118
Грузы в контей- нерах	-	21 978	-	1 271	4 270	3 155	1 527	-	31	32 232
Зерно	-	237	-	931	931	539	267	227	1 446	4 578
Руды	-	688	-	-	627	635	-	823	-	2 773
Древеси- на и про- дукция Л/х	-	194	290	2	652	3 983	230	687	841	6 879
Металлы	-	6 265	988	1 321	294	31	285	19	397	9 600
Металло- лом	-	1 219	-	173	410	-	646	-	397	2 845
Химиче- ские про- дукты	-	-	-	36	30	9	-	147	80	302
Уголь	-	282	12 417	446	2	13 497	345	6 616	119	36 926
Заморо- женные грузы	-	2 606	-	24	321	61	-	-	-	3 012
Сахарное сырье	-	-	-	11	440	140	-	146	-	737
Другие грузы	-	4 092	1 601	1 961	2 952	2 242	1 510	592	632	15 582
Всего	75 125	59 960	22 693	13 351	36 594	34 072	36 467	28 452	4 857	324 993

Что касается портов Финляндии, то грузооборот крупнейшего экспортного порта Хамина-Котка в первом полугодии 2014 г. сократился на 5,9 % по сравнению с первым полугодием 2013 г. – до 6 млн 937,7 т. Объем перевалки экспортных грузов в Котке за январь – июнь 2014 г. снизился на 3 %, составив 4 млн 754,6 тыс. т, в то время как грузооборот порта Хельсинки состоит в основном из угля, поставляемого из Российской Федерации.

В перспективе российский сырьевой экспорт будет переориентирован на национальные терминалы. Предвидя это, порты стран Балтии начинают переориентировать свои мощности на работу с Китаем, Казахстаном и другими азиатскими странами [6]. Эти грузопотоки можно так же направить в российские порты. Однако при этом необходимо учитывать, что наши порты, в том числе Усть-Луга, могут оказаться в худшем положении, чем порты стран Балтии с их

более продуманной маркетинговой и тарифной политикой. Поэтому стоит обратить внимание на свободные экономические зоны, расположенные на территории портов стран Балтии. Эти зоны обеспечивают нулевую ставку НДС на товары и услуги внутри зон, освобождают импорт и экспорт от акцизного и от таможенного налогов.

Антироссийские настроения 2014 г., обострившиеся в последние месяцы на Западе, подталкивают Россию к сокращению зависимости от портов стран Балтии. Около 10 лет назад Россия начала сокращать зависимость от стран Балтии по части морской транспортировки. Только за апрель месяц 2014 г. российские порты на фоне угроз со стороны Евросоюза увеличили общий грузопоток на 5,6 %.

К 2030 г. Северо-Западный регион России Балтийского моря станет основными морскими воротами экспорта российских углеводородов, а также крупнейшим российским морским бассейном по обороту рефрижераторных грузов и грузов в контейнерах. Проанализировав цифровые показатели по всему Северо-Западному региону в целом, можно сделать вывод: региону срочно необходимы новые или достаточно усовершенствованные уже использующиеся портовые терминалы. Правительству регионов РФ, вероятно, следует больше внимания уделять вопросам, связанным с проблемами портовых структур, так как от развития этой отрасли регион получит не только налоги, но и увеличение рабочих мест. Портам необходимо развиваться пропорционально с провозными и пропускными способностями автомобильных и железнодорожных подходов к портам. При этом следует отметить важность согласованности сроков, объемов и направлений частных инвестиций и инвестиций по государственным программам.

Список литературы

1. Кудряшов Н. Г. Транзитный потенциал: сущность, факторы реализации, подход к оценке / Н. Г. Кудряшов, А. А. Нечай // Журнал международного права и международных отношений. – 2012. – Вып. № 3 (62). – С. 92–96.
2. Гуменюк И. С. Транснациональная территориальная транспортная система Балтийского региона / И. С. Гуменюк // Балтийский регион. – 2012. – Вып. № 1. – С. 90–98.
3. Гёрмар В. Стратегические перспективы территориального развития региона балтийского моря / В. Гермар // Балтийский регион. – 2010. – Вып. № 2. – С. 1–6.
4. Жусупов С. Д. Состояние и перспективы развития морских портов России / С. Д. Жусупов // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – Вып. № 6 (37). – С. 36–39.
5. Абрамова В. Н. Состояние и перспективы развития морского и внутреннего водного транспорта России / В. Н. Абрамова, М. В. Ботнарюк // Вестник ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. – 2014. – Вып. № 1 (23). – С. 114–120.
6. Мельник Д. А. О понятии международного транспортного региона / Д. А. Мельник // Балтийский регион. – 2012. – Вып. № 1. – С. 149–153.
7. Стратегия развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 г. / Распоряжение Правительства РФ №2205-Р от 08.12.2010.
8. Конкуренция контейнерных терминалов на Балтике [Электронный ресурс] // morvesti.ru: Морские порты № 9 2013 г. URL: <http://www.morvesti.ru/analitics/detail.php?ID=24439> (дата обращения 30.08.2014).
9. Рева М. Куда пойдут грузы в Прибалтике? [Электронный ресурс] / М. Рева // regnum.ru: Посткризисный рост мировой экономики позитивно повлиял на рост грузооборота в портах восточной Балтики: 19.51 16.08.2011 г. URL: <http://regnum.ru/news/1435892.html> (дата обращения 07.09.2014).
10. Дятел Т. Грузовые перевозки [Электронный ресурс] / Т. Дятел // press.rzd.ru: От дорог к портам 19.05.2014г. URL: <http://press.rzd.ru/smi/public/ru> (дата обращения 20.09.2014).

УДК 657.421.32

И. П. Скобелева,
д-р экон. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

СТЕЙКХОЛДЕРЫ – НОСИТЕЛИ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ УСПЕХА СОВРЕМЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРПОРАЦИЙ

STAKEHOLDERS AS CARRIERS OF STRATEGIC SUCCESS FACTORS OF MODERN TRANSPORT CORPORATION

Показана стратегическая роль стейкхолдеров современной транспортной корпорации в достижении ее конкурентоспособности и долгосрочном эффективном развитии. Рассмотрены смена финансовой модели управления компанией, ориентация на стоимостную финансовую модель и приоритетность стратегического управления, а также развитие двух конкурирующих финансовых моделей компании в рамках стоимостной концепции – акционерной и стейкхолдерской. Представлены методы и инструменты управления, позволяющие учесть интересы ключевых внешних и внутренних стейкхолдеров транспортной компании в рамках классической акционерной модели, нацеленной на рост стоимости для акционеров, в том числе формирование эффективной системы сбалансированных показателей, проекции которой аккумулируют ключевые показатели эффективности в увязке с кругом интересов основных стейкхолдеров; маржинально-стоимостной подход к ценообразованию на транспортную услугу, основанный на структуризации цены в соответствии с интересами групп стейкхолдеров. Структурированы новые группы конкурентных преимуществ, создаваемых уникальными ресурсами, предоставляемыми стейкхолдерами компании, базирующиеся на формировании и развитии коммуникативного, социального и интеллектуального капитала транспортной корпорации. Поскольку рассматриваемая проблема весьма слабо представлена в отраслевой науке и практике, развит стейкхолдерский аспект в стратегическом управлении, нацеленном на рост стоимости компании.

In this article the strategic role of the stakeholders is pointed out. Stakeholders help modern transport corporation to achieve its competitiveness and increasing value. In this article, a new group of competitive advantages are structured, which create unique resources provided by stakeholders and is based on the formation and development of communicative, social and intellectual capital of the transport corporation. The Analysis of modern science literature revealed that the problem of taking into account the effect of selected management methods and management tools rather weakly reflected in the economic literature. These methods and tools are: the formation of an effective balanced scorecard and margin-cost approach to pricing of transport services. In this article author developed these aspect with strategic value-oriented management.

Ключевые слова: стейкхолдеры, транспортная корпорация, financial model, company value, конкурентные преимущества, коммуникативный, социальный и интеллектуальный капитал.

Key words: stakeholders, transport Corporation, competitive advantage, communicative, social, and intellectual capital.



СОВРЕМЕННЫЕ корпорации, в том числе на транспорте, для достижения успеха активно развивают вектор стратегического управления. В качестве главной стратегической цели развития корпорации, концентрированно измеряющей эффективность ее функционирования и потенциал ее будущего развития в конкурентном поле, теория и практика определяет рост стоимости компании. Реализуя стратегическое управление, менеджмент использует ту или иную финансовую модель, которая отражает воздействие значимых финансовых и нефинансовых факторов и показателей на целевую функцию.

Финансовая модель, базирующаяся на «бухгалтерском» подходе, концентрирует внимание менеджеров на выявлении факторов, влияющих на прибыль и рентабельность (продаж, активов, собственного капитала). Подобная модель до сих пор используется немалым числом транспортных компаний России. В то же время с активным развитием финансового рынка (национального и глобального), приобретающим статус основного поставщика капитала корпораций, ужесточением

конкуренции компаний за финансовые ресурсы, эта модель пришла в противоречие с потребностями развития бизнеса.

В современном управлении транспортными корпорациями решение стратегических задач, требующих выбора между стратегическими альтернативами и характеризующихся долгосрочными эффектами, опирается на стоимостную финансовую модель. В соответствии с этой моделью целевой функцией принятия управленческих решений является стоимость бизнеса в качестве долгосрочного индикатора, определяющего потенциал генерирования денежного потока, источником которого являются имеющиеся и создаваемые конкурентные преимущества компании. При этом концепция стоимостного менеджмента исходит из единого подхода к оценке будущих и имеющихся активов с использованием критериев эффективности, основанных на будущих дисконтированных денежных потоках.

Следует отметить, что учеными предпринимались попытки соединить бухгалтерский и стоимостной подход в формировании финансовой модели. Наиболее полное отражение они нашли в модели, предложенной К. Уолшем [1], который не предлагает решение всего комплекса вопросов в управлении стоимостью компании. Его модель рассматривает сбалансированное движение ограниченного числа главных финансовых коэффициентов, служащих для выражения целей бизнеса, его стандартов и оказывающих влияние на стоимость компании. Управляя базовыми финансовыми коэффициентами с учетом их взаимосвязи и необходимости сбалансирования, можно достичь увеличения капитализации компании. Подобные модели, даже в представленной трансформации бухгалтерской методологии к стоимостной, ограничивают возможности менеджмента компании решением вопросов краткосрочного выбора.

Стоимостная модель служит фундаментом выработки стратегии транспортной компании, выявляет альтернативы ее развития, используется для обоснования управленческих решений. Она расширяет представление о спектре возможностей повышения эффективности и конкурентоспособности компании и одновременно сужает пространство множества факторов, влияющих на будущее развитие компании. При обосновании и реализации транспортной организации стратегии роста, что весьма актуально для современной России, увеличение стоимости рассматривается как «критерий эффективности экономического роста» [2].

Потенциал использования стоимостного менеджмента весьма высок для российских транспортных компаний, значительное число которых функционирует в форме открытых акционерных обществ и стремится конкурировать на международных рынках транспортных услуг [3] – [5]. При этом лишь весьма ограниченное число отечественных транспортных компаний котирует свои акции на фондовом рынке, ограничивая масштабы финансово-инвестиционного ресурсного обеспечения их развития [6].

В настоящее время в теоретическом плане конкурируют две финансовые модели компании в рамках стоимостной концепции: акционерная и стейкхолдерская. *Акционерная модель* исходит из доминирования интересов владельцев собственного капитала корпорации. Сторонники ее рассматривают в качестве главной финансовой цели максимизацию стоимости для акционеров. *Стейкхолдерская модель* основана на учете интересов всех владельцев как финансового, так и нефинансового капитала; она возникла и развивается в связи с возросшей ролью взаимодействия всех заинтересованных групп, вовлеченных в активные и пассивные формы участия в деятельности компании с целью извлечения выгоды от связей с ней. Сторонники стейкхолдерского подхода предлагают интегрированную модель управления стоимостью, в основе которой лежит новая цель, состоящая в повышении стоимости для всех стейкхолдеров, опирающаяся на расширение платформы создания стоимости и балансирование множественных интересов стейкхолдеров как условие выбора стратегических инициатив. При этом приверженцы данного подхода подчеркивают, что потребуются переосмысление оценки стоимости, чтобы отразить новый измеритель – стоимость для всех стейкхолдеров компании [7].

Следует отметить, что и в рамках ставшей уже классической акционерной финансовой модели бизнеса возможно и необходимо актуализировать и расширить структуризацию факторов роста

стоимости, отражающую вклад значимых стейкхолдеров разных категорий в создание стоимости компании. Стремление к достижению цели увеличения стоимости для акционеров заставляет менеджмент компании учитывать интересы и других заинтересованных групп – стейкхолдеров (внешних и внутренних). Стейкхолдерский срез в подобной расширенной модели дополняет принципы и инструментарий стоимостного управления включением в них более обширного спектра способов движения к цели максимизации стоимости для акционеров. Эти позиции, в частности, находят отражение в использовании компаниями концепции сбалансированной системы показателей (BSP). Сбалансированная система показателей включает систему оценок перспектив компании по четырем проекциям: финансы, клиенты, бизнес-процессы, обучение и развитие [8]. Значения ключевых показателей эффективности BSP обосновываются с учетом интересов внешних и внутренних стейкхолдеров с целью обеспечения роста стоимости для акционеров компании. На транспорте многие компании предпринимают попытки внедрения сбалансированной системы показателей, достаточно активны и научные исследования в этой области [9].

В науке и практике предлагаются также иные способы реализации интересов стейкхолдеров в системе стоимостного управления. Так, представляется весьма актуальным новый «маржинально-стоимостной подход к ценообразованию», который предполагает структуризацию цены на транспортную услугу по группам стейкхолдеров, что создает возможности дифференцированного управления издержками определенного уровня и формированием стоимости, регулируя и балансируя при этом интересы стейкхолдеров и обеспечивая на этой основе рост стоимости транспортной организации [10]. Более глубокое исследование проблемы стратегической роли стейкхолдеров в деятельности транспортных корпораций в условиях перехода к инновационной экономике, глобализации и ужесточения конкуренции позволяет структурировать новые группы конкурентных преимуществ, создаваемых уникальными ресурсами, предоставляемыми стейкхолдерами компании. Новые источники конкурентных преимуществ современных компаний, прежде всего, базируются на коммуникативном, социальном и интеллектуальном капитале.

Коммуникативный капитал транспортной корпорации аккумулирует факторы качества отношений и достижения взаимного доверия участников процесса функционирования корпорации, играющие существенную роль в развитии современного транспортного бизнеса. Ключевым признаком высокого уровня развития коммуникативного капитала в компании является доверие между сторонами-участниками комплекса отношений корпорации, результат которого выражается в формировании и развитии специфического актива компании – актива качества отношений. Такой актив формируется следующим спектром внутрифирменных и внешних корпоративных отношений: между корпорацией и ее персоналом, внутри разных групп персонала, а также отношениями транспортной компании с инвесторами, поставщиками, клиентами (потребителями транспортных услуг), партнерами и регулирующими органами.

Социальный капитал создает активы компании, формируемые степенью общности ценностей, представлений и способностью осознания разделяемых целей участниками корпоративных отношений. Следует отметить, что в академической литературе к социальному капиталу относят и коммуникативный капитал, выделяя, таким образом, две содержательные компоненты социального капитала корпорации как особого ресурса, извлекаемого из ее разнообразных социальных связей. Исследования в этой области привели к введению новых понятий внутреннего и внешнего рычага социального капитала [7]. Внутренний рычаг отражает индивидуальные инициативы членов коллектива, способность компании к созданию и поддержке благоприятного климата для их реализации, внешний характеризует способность компании использовать внешние связи стейкхолдеров, взаимное сотрудничество, встречные инициативные действия.

Коммуникативный и социальный капитал становится значимым фактором создания стоимости компании. Параметры этого ресурса (уровень доверия и общность ценностей) оказывают непосредственное влияние на снижение транзакционных издержек корпорации во взаимоотношениях с клиентурой, партнерами и поставщиками при наборе персонала, а также (что значительно более существенно) обеспечивают рост корпоративной культуры, качества

персонала, что способствует совершенствованию бизнес-процессов. Таким образом, в современных транспортных корпорациях наблюдается рост роли «портфеля отношений» компании как новой группы конкурентных преимуществ, основанных на способности стейкхолдеров компании создавать ее коммуникативный и социальный капитал, являющийся в условиях инновационной экономики и экономики знаний важным фактором роста стоимости современной транспортной корпорации. Другим стратегическим источником конкурентных преимуществ компании является интеллектуальный капитал, носителями которого, в значительной степени, являются стейкхолдеры.

Интеллектуальный капитал включает как накопленные знания, так и способность их трансформации в новые знания. Формирование интеллектуального капитала корпорации зависит от характеристик стейкхолдеров как носителей знаний и от качества связей с ними, поскольку знания создаются конкретными людьми, а компания может либо поддерживать творческий процесс, превращая стейкхолдеров из потенциального в фактического носителя трансформационных компетенций, либо разрушать его.

Интеллектуальный капитал пронизывает все звенья и объекты системы управления современной корпорации: человеческий капитал, партнерский капитал, клиентский капитал, организационный капитал. В результате главные конкурентные преимущества компании смещаются в сторону ее интеллектуального ресурса, который является уникальным, не доступным в полной мере для конкурентов. При этом данный ресурс не просто присваивается компанией, но, прежде всего, создается в процессе трансформации знаний, что является главным фактором успеха в конкуренции и создания стоимости компании в динамичной среде ее функционирования.

Таким образом, в условиях высококонкурентной динамичной инновационной экономики сам по себе финансовый капитал и эффективность операционной деятельности, основанной на традиционной ресурсной модели компании, все в меньшей степени определяют стратегический успех транспортного бизнеса и рост его стоимости. Накопление уникальных коммуникационных, социальных и инновационных ресурсов корпорации, ее стейкхолдеров составляют ядро новой модели стратегического управления бизнесом на транспорте.

Список литературы

1. Уолш К. Ключевые показатели менеджмента: как анализировать, сравнивать и контролировать данные, определяющие стоимость компании; пер. с англ. / К. Уолш. – 2-е изд. – М.: Дело, 2001.
2. Палкина Е. С. Исследование взаимосвязи экономического роста и стоимости компании для оценки эффективности реализации стратегии роста компании / Е. С. Палкина, И. П. Скобелева // *European Social Science Journal*. – 2013. – № 12 (39) – Т. 2. – С. 411–417.
3. Малиновская О. В. Управление стоимостью компании – новый этап развития стратегического управления на транспорте / О. В. Малиновская, И. П. Скобелева // *Журнал университета водных коммуникаций*. – 2009. – Вып. 1. – С. 136–146.
4. Скобелева И. П. Актуальность использования и структурные детерминанты ценностно-ориентированного управления в российских судоходных компаниях / И. П. Скобелева, О. В. Малиновская // *Журнал университета водных коммуникаций*. – 2009. – Вып. 4. – С. 138–141.
5. Скобелева И. П. Позиционирование стоимостного и традиционного подходов к оценке эффективности деятельности транспортных компании // И. П. Скобелева, В. А. Макарова // *Материалы III Международной науч. конф. «Роль финансово-кредитной системы в реализации приоритетных задач развития экономики»*, 18–19 февраля 2010 г.: сб. докл.: в 2 т. / под ред. д-ра экон. наук, проф. В. Е. Леонтьева, д-ра экон. наук, проф. Н. П. Радковской. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2010. – Т. 1. – С. 211–214.

6. Скобелева И. П. Транспортные компании России на мировом фондовом рынке: проблемы и перспективы / И. П. Скобелева, С. А. Котов // Транспортное дело России. – 2013. – Вып. 2 (131). – С. 50–53.

7. Иваишкова И. В. Моделирование стоимости компании. Стратегическая ответственность советов директоров / И. П. Скобелева. – М.: ИНФРА-М, 2011. – 430 с.

8. Каплан Роберт С. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию / Р. С. Каплан, Д. П. Нортон. – 2-е изд., испр. и доп.; пер. с англ. М. Павловой. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2003. – 320 с.

9. Палкина Е. С. Сбалансированная система показателей как инструмент реализации стратегии роста компании / Е. С. Палкина // Инициативы XXI века. – 2013. – № 4. – С. 23–27.

10. Палкина Е. С. Маржинально-стоимостной подход к ценообразованию в системе управления стоимостью компании / Е. С. Палкина // Экономический анализ: теория и практика. – 2012. – 21(276). – С. 56–60.

УДК:629.122

В. А. Ерофеев,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова;

Е. В. Ерофеева,
канд. экон. наук, исполнительный директор,
ООО «РосЭнергоАудит»

ПРАКТИКА И ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

PRACTICE AND PROBLEMS OF ESTIMATING THE ENERGY EFFICIENCY OF WATER TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Излагаются некоторые результаты исследований по теме «Разработка научных подходов по повышению энергетической эффективности объектов транспортной инфраструктуры...», выполненной по заказу Международной академии транспорта в 2013 г. Рассматриваются перспективы развития и особенности функционирования инфраструктуры водного транспорта: водных путей, гидросооружений, портов и терминалов, судов портофлота и др. Анализируются результаты составления энергетических паспортов типовых объектов инфраструктуры водного транспорта, показатели энергетической эффективности и типовые мероприятия энергосбережения для объектов инфраструктуры.

The article presents some results of research on the topic «Development of scientific approaches to improve the energy efficiency of transport infrastructure ...», commissioned by the International Academy of Transport in 2013. The article considers the prospects of development and the specificity of functioning water transport infrastructure - waterways, ports and terminals, support vessels, and so on. The article presents the results of analysis of energy passports for typical objects of water transport infrastructure, the analysis of energy efficiency and typical measures of energy saving for infrastructure.

Ключевые слова: энергосбережение, энергетическая эффективность, инфраструктура, показатели, водный транспорт, энергетическое обследование, энергетический менеджмент.

Key words: energy saving, energy efficiency, infrastructure, indicators, water transport, energy audits, energy management.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ Программа РФ «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 г.» [1] (далее – Программа) имеет подпрограмму «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на транспорте» (далее – Подпрограмма). В одной из задач Программы заявлена необходимость формирования целостной и эффективной системы управления энергосбережением и повышением энергетической эффективности на основе комплексного развития инфраструктуры, обучения и повышения квалификации руководителей и специалистов, занятых в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, пропаганды и внедрения системы энергетического менеджмента. Однако Подпрограмма предполагает осуществление ее только железнодорожным и трубопроводным транспортом.

Во введении к «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г.» (далее – Транспортная стратегия) [2, с. 1], указывается: «... в России появились существенные ограничения роста экономики, обусловленные недостаточным развитием транспортной системы. Сегодняшние объемные и качественные характеристики транспорта, особенно его инфраструктуры, не позволяют в полной мере и эффективно решать задачи растущей экономики...». В отношении водного транспорта и его инфраструктуры прогнозируется значительное увеличение строительства морских и речных судов транспортного, пассажирского и вспомогательного (включая технический) флота, развитие Северного морского пути и инфраструктуры арктических портов, дальнейшее развитие и техническое перевооружение многих морских и речных портов, особенно в пунктах взаимодействия различных видов транспорта, в том числе для организации северного завоза грузов и перевозок пассажиров.

Предполагается комплексная реконструкция гидротехнических сооружений и внутренних водных путей Амурского и Ленского бассейнов, строительство низконапорного гидроузла на реке Волга в Нижегородской области, реконструкция элементов Городецкого, Чебоксарского, Самарского и Саратовского гидроузлов на реке Волга, Чайковского, Пермского и Нижне-Камского гидроузлов на реке Кама, Павловского гидроузла на реке Белая, реконструкция гидроузлов Волго-Донского канала, Волгоградского и Николаевского гидроузлов, плотины Кокчетавского гидроузла, Северо-Донецкой и Манычской шлюзовых систем, устранение отдельных лимитирующих участков внутренних водных путей Азово-Донского и Волжского бассейнов и др.

В Транспортной стратегии [2] предусматривается, в том числе, строительство судов обслуживающего флота (ледоколов, аварийно-спасательных и др.). В 2016–2030 гг. планируется продолжение строительства и модернизация судов обслуживающего флота (атомные и дизель-электрические ледоколы и др.), в том числе трех атомных ледоколов нового типа мощностью 60 МВт для обеспечения круглогодичной работы транспортных судов на трассах Северного морского пути, ряда дизель-электрических ледоколов для обслуживания месторождений на шельфах северных морей, портовых ледоколов-буксиров мощностью 6–7 МВт и др. Предполагается развитие инфраструктуры арктических и других портов.

Транспортная стратегия [2] также устанавливает, что развитие и техническое совершенствование федеральной и региональной транспортной инфраструктуры подлежит государственному регулированию, предполагающему создание и совершенствование нормативно-правовой базы, а также создание эффективной системы управления, в том числе регулирование уровня удельных транспортных издержек в цене продукции, включая разработку и ввод в действие методов, стимулирующих снижение совокупных удельных транспортных издержек, механизмов мониторинга совокупных удельных транспортных издержек в цене конечного продукта. Реализация Транспортной стратегии [2] одной из своих целей предполагает также снижение вредного воздействия транспорта на окружающую среду. К сожалению, этот документ, ставя цели сокращения транспортных издержек и снижения вредного воздействия транспорта на окружающую среду, напрямую не затрагивает вопросов энергосбережения и повышения энергетической эффективности, необходимость обеспечения которых устанавливается иными нормативными актами, а также международными соглашениями, действующими в области морского транспорта.

Многие положения российских законов в области энергосбережения по своей идеологии существенно отличаются от аналогичных законов промышленно развитых стран. Коренное различие в законодательном регулировании кроется в принятой в России практике нормотворчества,

когда разрабатываются так называемые *законы общего действия*, указы президента, постановления правительства, механизмы реализации которых определяются ведомственными инструкциями, разработка которых иногда тормозится различного рода отговорками типа *«неподпадание под действие закона»*. На Западе обычно принимаются законы прямого действия.

Понимание недостаточности имеющейся нормативно-методической базы, а также необходимость ее доработки вызвали выполнение в ОАО «НИИАТ» научно-исследовательской работы на тему «Разработка проекта концепции энергосбережения и повышения энергетической эффективности в транспортной отрасли». В отзыве на 2-й этап НИР по проекту концепции Санкт-Петербургского государственного университета водных коммуникаций наряду с необходимостью доработки концепции указывалось и на отсутствие целевых показателей и критериев для отдельных энергоэффективных мероприятий в их взаимосвязи с энергоэффективностью отрасли и экономики России в целом. О принятии этой концепции нам не известно, однако необходимость разработки и утверждения единого для отрасли индекса энергетической эффективности устанавливается Правительством РФ [3]. Таким образом, выявлена актуальность взаимоувязывания специфики деятельности и энергопотребления объектов водного транспорта с основными целями и задачами энергосбережения и повышения энергоэффективности, сокращения транспортных издержек и вредного воздействия на окружающую среду, сформулированными в указанных ранее документах.

Ввиду того, что государственному регулированию подлежат объекты инфраструктуры водного транспорта, далее рассматриваются только эти объекты с целью ответа на вопрос: *Какими едиными индикаторами следует оценить энергетическую эффективность объектов инфраструктуры и ее вклад в общую энергоэффективность?* Показатели энергетической эффективности разнообразны и подчас плохо увязаны между собой. Необходимо их уточнение, поскольку единый для отрасли индекс энергетической эффективности, учитывающий влияние на него объектов инфраструктуры, при всем ее разнообразии и специфике, отсутствует. Необходимость разработки и утверждения подобного индекса энергоэффективности по отрасли устанавливается правительством РФ [3]. Первым шагом в указанном направлении должно стать проведение энергетического обследования. Во исполнение Федерального закона Российской Федерации от 23.11.2009 г. № 261 – ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации (с изм. и доп.)» [4] издан Приказ Минэнерго № 182 от 19.04.2010 г. [5], который устанавливает единые обязательные формы энергетического паспорта по отражению необходимых показателей и информации об энергопотреблении и произведенной продукции обследуемых объектов. Он также разъясняет, что при наличии обособленных подразделений обследуемого юридического лица (филиалов, дочерних обществ, промышленных площадок, объектов и др.) в других субъектах Российской Федерации и муниципальных образованиях к энергетическому паспорту прилагаются также формы, заполненные по каждому обособленному подразделению. Иными словами, указанные формы энергетического паспорта едины для **всех** объектов, подлежащих обязательному энергетическому обследованию, в том числе для объектов инфраструктуры водного транспорта.

С момента издания ФЗ № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации (с изм. и доп.)» [4] и до момента написания статьи отсутствуют официально утвержденные методика проведения энергетического обследования и методика заполнения энергетического паспорта.

В соответствии с п. 4 ст. 15 ФЗ № 261 «*Деятельность по проведению энергетического обследования вправе осуществлять только лица, являющиеся членами саморегулируемой организации (СРО) в области энергетического обследования*». В соответствии с пп. 4 и 5 ст. 18 того же ФЗ «СРО в области энергетического обследования обязаны разработать и утвердить стандарты и правила проведения энергетических обследований, а также вправе утверждать иные стандарты и правила». В связи с этим содержание энергетического паспорта может дополняться в зависимости от видов деятельности обследуемого юридического лица и объекта обследования. Эти дополнения отражаются в виде приложений к единым обязательным формам или в виде отдельных форм энергетического паспорта. Все это в полной мере относится к объектам водного транспорта.

На 02.10.2014 г. в Российской Федерации насчитывается более 150 СРО в области энергетического обследования, и именно на них возложены обязанности разработки и утверждения дополнительных стандартов энергообследования, учитывающих все разнообразие специфики объектов. Практика проведения энергетических обследований и формирования их результатов показала, что у каждого СРО существуют свои стандарты по проведению энергообследования, созданные в ряде случаев малокомпетентными специалистами, призванными заполнять только таблицы энергетического паспорта по формальному признаку, не разрабатывая дополнительных форм, отражающих специфику деятельности объекта. Теория и практика проведения энергетических обследований на водном транспорте рассматривалась и ранее [6].

Последующий анализ результатов непосредственного обследования ряда выбранных объектов инфраструктуры водного транспорта был произведен нами с целью установления соответствия форм энергетического паспорта, предписанных Минэнерго России, конкретным особенностям инфраструктуры отрасли. В качестве объекта обследования инфраструктуры внутреннего водного транспорта был выбран субъект естественных монополий, оказывающий услуги по использованию инфраструктуры внутренних водных путей [7], – ФГУ «Волго-Балтийское государственное бассейновое управление водных путей и судоходства («Волго-Балт»).

ФГУ «Волго-Балт» является территориальным органом государственного управления в системе Министерства транспорта РФ и имеет в своем составе девять подразделений, которые поддерживают работоспособность Волго-Балтийского водного пути: Свирский, Вытегорский, Шекснинский районы гидросооружений и судоходства, Невско-Ладужский, Череповецкий, Новгородский и Гвардейский районы водных путей и судоходства, а также Бассейновый узел связи.

Основными задачами ФГУ «Волго-Балт» являются:

- эксплуатация и развитие водных путей и гидротехнических сооружений;
- государственное регулирование деятельности речного транспорта по вопросам, относящимся к компетенции государственных органов;
- обеспечение безопасности судоходства, экологической и пожарной безопасности;
- диспетчерское регулирование движения судов и проводка судов государственными лоцманами.

Волго-Балт – одна из важнейших водных магистралей, входящих в единую глубоководную систему внутренних водных путей Европейской части России. Это сложный комплекс инженерных объектов, включающий 4900 км эксплуатируемых водных путей, в том числе 3270 км с гарантированными габаритами, 35 земляных плотин и дамб, 9 мостовых переходов, а также 11 шлюзов с напором от 11 до 18 м, три гидроэлектростанции, 13 паромных переправ, 8 маяков в Ладужском озере, более 5000 знаков судоходной остановки, 273 единицы обслуживающего флота, здания специальной инфраструктуры (общежития, жилые дома, детские сады и др.). Выбранный объект является типичным среди 14 подобных «субъектов естественных монополий, оказывающих услуги по использованию инфраструктуры внутренних водных путей».

Исходной информацией для исследования являлся энергетический паспорт ФГУ «Администрация Волго-Балт», составленный в соответствии с требованиями Минэнерго РФ путем обобщения отчетов по девяти структурным подразделениям ФГУ. К номенклатуре основной продукции отнесено количество пропущенных рейсов; объем производства основной продукции (услуг) измеряется в тыс. руб.

В форме энергетического паспорта «Сведения о показателях энергетической эффективности» приводится лишь один показатель – *удельная энергоемкость* – тонна условного топлива (т.у.т.) / количество пропущенных рейсов. В форме энергетического паспорта ФГУ указаны в натуральном выражении расходы различных видов топлива по каждой автомашине, обстановочному теплоходу, земснаряду и дноуглубительному крану и др., но отсутствуют сведения (типовой энергетический паспорт этого не требует) по объему производимой ими продукции. Указаны также расходы топливно-энергетических ресурсов по каждому из десятков зданий.

Ряд типовых форм энергетического паспорта оказывается просто не заполненным, поскольку они не содержат отражение специфики деятельности объекта. Кроме того, нет сведений по использованию где-либо вторичных энергетических ресурсов, а по факту таковые имеются.

Рассчитанная энергоаудиторами доля платы за энергоресурсы в стоимости произведенной ФГУ продукции не превышает 9 %, что при отсутствии мотивации не ставит проблему энергосбережения и повышения энергетической эффективности в число первоочередных.

Несмотря на то, что при составлении энергетического паспорта была проведена большая обобщающая работа, это не позволило выявить как места неэффективного энергоиспользования, так и предложить конкретные (нетиповые) пути энергосбережения для подразделений ФГУ. Создается впечатление, что энергоаудиторы и заказчик не знали о существовании Приказа № 217-т от 30.03.2012 г. Федеральной службы по тарифам Российской Федерации (ФСТ РФ), о показателях и требованиях к программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности [7]. Таким образом, достаточно дорогостоящее обследование было выполнено, с одной стороны, в соответствии с требованиями нормативных документов, а с другой, носило формальный характер и, ввиду отсутствия возможности учета специфики деятельности и энергопотребления объектов ФГУ, не позволило сформировать работоспособную программу энергосбережения для объектов ФГУ. Иными словами, требования ФЗ № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации (с изм. и доп.) [4] были выполнены (обязательное обследование было проведено), но фактического эффекта это не принесло.

В качестве другого объекта обследования инфраструктуры водного транспорта был выбран субъект естественных монополий, оказывающий услуги в транспортных терминалах и портах [8] – ОАО «Морской порт Санкт-Петербург», а также объект инфраструктуры нового типа (интегрированный транспортно-складской и товарно-транспортный комплекс) – транспортно-экспедиционная компания ООО «Модуль», основанная в Санкт-Петербурге в 1992 г.

ОАО «Морской порт Санкт-Петербург» является типичным субъектом естественных монополий из 166, указанных в Приказе ФСТ РФ. ООО «Модуль» владеет терминалами в ряде субъектов России, собственным парком автомашин, собственными складскими помещениями, железнодорожными подъездными путями и подвижным составом, а также сетью офисных зданий. Терминалы оборудованы соответствующей перегрузочной техникой, имеется свой центр диагностики и ремонта автомашин, а также другой перегрузочной техники.

К особенностям инфраструктуры портов необходимо отнести и наличие собственных судов – портофлот, что также следует учесть при оценке энергетической эффективности объектов инфраструктуры. Так, для портов и плавания в морских районах с удалением от мест убежища до 100 миль, для ломки льда, участия в спасательных операциях, эскортных операциях со скоростью до 10 уз и др., предназначены эскортные буксиры и многофункциональные аварийно-спасательные суда, а для продления навигации – ледоколы типа «Невская застава».

Исходной информацией для нашего исследования являлся энергетический паспорт потребителя топливно-энергетических ресурсов ОАО «Морской порт Санкт-Петербург» и энергетический паспорт ООО «Модуль». Эти документы также были составлены в соответствии с типовыми требованиями Приказа Минэнерго РФ (№ 182 от 19 апреля 2010 г.).

К номенклатуре основной продукции порта в энергетическом паспорте отнесена транспортная обработка грузов. Объем производства продукции (работ, услуг) указан в денежном выражении – тыс. руб. в год. При этом произведено разделение этой продукции на *основную* и *дополнительную*. Последняя приведена без расшифровки, что не позволяет конкретизировать ее и установить приоритетный ряд мероприятий по энергосбережению.

Потребление энергетических ресурсов по номенклатуре основного производства приводит-ся как в натуральном (тыс. т.у.т.), так и в денежном выражении (тыс. руб.).

К показателям энергетической эффективности отнесены:

- энергоемкость производственной деятельности – т.у.т./т;
- удельный расход электроэнергии на объем оказания услуг – тыс. кВт/(т·ч);
- удельный расход тепловой энергии на объем оказания услуг – Гкал/т;
- удельный расход условного топлива на производство тепловой энергии котельными – кг.у.т./Гкал;
- удельная энергоемкость – тыс. т.у.т./ тыс. руб.

Приводятся данные по потреблению воды – всего и на производство основной продукции.

В формах энергетического паспорта указаны в натуральном выражении расход различных топлив по каждой автомашине, теплоходу, плавучему крану и др. без указания произведенной ими работы. Указаны также расходы топливно-энергетических ресурсов по каждому из зданий. Так же, как и по ФГУ «Волго-Балт», ряд типовых форм энергетического паспорта оказывается не заполненным, поскольку они не отражают специфику деятельности порта. Нет сведений по использованию вторичных энергетических ресурсов.

Приведенные в форме энергетического паспорта расчетные сведения о доле платы за энергоресурсы в стоимости произведенной объектом продукции для ООО «Модуль» составляют 2,6–4,07 % в течение пяти лет, а для ОАО «Морской порт Санкт-Петербург» – 6,06–9,69 %. Отсутствие мотивации к энергосбережению и малая доля затрат на (техничко-экономические расчеты не ставит для руководителя проблему повышения энергетической эффективности в число первоочередных.

Работы по проведению энергетических обследований и составлению энергетических паспортов как по порту, так и по ООО «Модуль» не позволили выявить и отразить отраслевую специфику деятельности объектов и определить индивидуальные пути и приоритеты мероприятий по повышению энергетической эффективности объектов. Складывается впечатление, что и на этих объектах как заказчик, так и энергоаудиторы не знали о существовании Приказа № 219 от 30 марта 2012 г. или считали его для себя не обязательным [8]. Таким образом, анализ показал, что возможность адаптации типовых форм энергетического паспорта к специфике деятельности объектов водного транспорта оказалась достаточно слабой.

Авторами статьи была сделана попытка создания специальной методики определения показателей энергетической эффективности объектов инфраструктуры морского и речного транспорта, отражающей отраслевую специфику и включающей как интегральные, так и локальные показатели для водных путей и гидросооружений как для портов, так и для транспортных терминалов. Однако возникла потребность доработки данной методики, поскольку она должна являться составной частью методики проведения энергетического обследования для объектов отрасли. При этом важно отметить, что существует методика проведения энергообследования объектов ОАО «РЖД», а о существовании подобных методик для объектов внутреннего водного и морского транспорта нам не известно.

Прежде всего следует определиться с индикаторами, которыми должна оцениваться энергетическая эффективность отдельных элементов конкретных объектов инфраструктуры, а также необходимо знать место этих индикаторов и их влияние на основное назначение транспорта – перевозку грузов и пассажиров и др. Затем эти согласованные индикаторы должны быть утверждены на достаточно высоком профессиональном уровне. Так, показателем энергетической эффективности проектирующих и находящихся в эксплуатации судов Международной морской организацией (ИМО) определено количество парниковых газов CO_2 , выбрасываемых судном при производстве конкретной работы за какой-либо промежуток времени (кг CO_2 на тонно-километр) [9] – [12]. При всей некорректности названия этого показателя, безусловно, связанного с энергетической эффективностью работы судна и флота в целом, он утвержден на сессии ИМО и вступил в действие с 01.01.2013 г. Однако при этом следует ответить на вопросы: *Подобным или иным показателем оценивать энергетическую эффективность работы объектов инфраструктуры? Как привести к единому показателю работу (и ее энергетическую эффективность) судов вспомогательного флота, например, ледоколов, работу отопительной котельной и административного задания?* Необходимо учитывать, что структура потребления энергии и производимая при этом работа объектов инфраструктуры – ГБУВП и С, портов и терминалов существенно разнообразна.

Одним из существенных параметров качества энергетического обследования является точность и объективность выбора и обоснования мероприятий, представленных в Программе повышения энергетической эффективности. Типовые мероприятия, рекомендованные энергоаудиторами в анализируемых энергетических паспортах, слабо отражают специфику объектов инфраструктуры водного транспорта. В связи с этим авторами был разработан проект Реестра мероприятий по энергосбережению для портов и транспортных терминалов (19 пунктов), приведенный в таблице.

**Мероприятия по энергосбережению инфраструктурных объектов
морского и речного транспорта. Порты и транспортные терминалы**

№ п.п.	Топливо-энергетический ресурс	Наименование мероприятия	Применяемые технологии, оборудование и материалы	Экономический эффект
1	Все используемые ТЭР	Внедрение системы энергетического менеджмента в соответствии с требованиями Международного стандарта ISO 50001:2011 «Системы энергомэнеджмента. Требования и руководство по использованию»	Организационно-техническое мероприятие, повышающее управляемость и координацию деятельности по управлению энергетическими системами всех объектов предприятия	От 3 % годовых затрат на ТЭР
2	Электрическая энергия	Установка устройств компенсации реактивной мощности на перегрузочном оборудовании и трансформаторных подстанциях	Установка специальных компенсирующих установок типа КРМ	Сокращение потерь мощности в трансформаторах и, как следствие, сокращение затрат на электроэнергию; сокращение затрат, связанных с оплатой потребления реактивной энергии
3	Электрическая энергия	Модернизация кранового оборудования или замена на более современное	Износ кранового оборудования по морским и речным портам, составляющий в среднем 85 %, требует проведения их замены или модернизации	Энергопотребление современного или модернизированного портального крана по сравнению с традиционными типами кранов обеспечивает снижение электропотребления не менее чем на 20 % за счет изменения системы управления электрооборудованием
4	Электрическая энергия	Модернизация электропривода основных механизмов. Установка частотно-регулируемого электропривода	Регулируемый асинхронный электропривод или частотно-регулируемый привод, состоящий из асинхронного электродвигателя и инвертора (преобразователя частоты, ПЧ), который выполняет роль регулятора скорости вращения асинхронного электродвигателя. Преобразователь частоты (автоматический регулятор частоты) – устройство, преобразующее входное напряжение 220 В/380 В частотой 50 Гц в выходное импульсное напряжение посредством ШИМ (широтно-импульсной модуляции), которое формирует в обмотках двигателя синусоидальный ток частотой от 0 Гц до 400 Гц. Таким образом, плавно увеличивая частоту и амплитуду напряжения, подаваемого на обмотки асинхронного электродвигателя, обеспечивают плавное регулирование скорости вращения его вала	15–50 %

№ п.п.	Топливно-энергетический ресурс	Наименование мероприятия	Применяемые технологии, оборудование и материалы	Экономический эффект
5	Электрическая энергия (дизельное топливо)	Рациональный выбор перегрузочной техники для обработки конкретного типа груза	При нерациональном выборе техники для переработки навалочных грузов возможный перерасход за навигацию может составить 30–35 тыс. кВт·ч на один кран. Аналогичная ситуация обстоит со штучным грузом. Необоснованный выбор типа рейфера на навалочных грузах также влечет за собой рост удельных расходов электроэнергии	До 20 %
6	Электрическая энергия (дизельное топливо)	Поиск оптимальных технологий грузовой работ для одного и того же груза	Например, перегрузка контейнеров краном «Грац5*30» с использованием ванта судно – склад стропами и специальным захватом может составить по сравнению с последним повышенный расход электроэнергии на 18 %.	До 20 %
7	Электрическая энергия (дизельное топливо)	Повышение квалификации крановщиков	Более высокая квалификация крановщиков позволяет не только повысить производительность, но и работать с меньшими затратами энергии	5–15 %
8	Электрическая энергия, топливо	Применение РВС-технологии	РВС-технология – комплекс работ по обработке машин и механизмов ремонтно-восстановительными составами (РВС) с целью восстановления и улучшения их характеристик без вывода из эксплуатации. РВС представляет собой минеральную композицию, которая при добавлении в штатную систему смазки обрабатываемого механизма реализует эффект «безызносности» (http://www.rvs-tech.ru/rvs_tech_hist.html)	– снижение потребления электроэнергии и топлива в зависимости от исходного состояния обрабатываемого оборудования от 2 % (на новом оборудовании и с малой нагрузкой часов эксплуатации) до 15 % (на старом оборудовании с большой наработкой); – увеличение межремонтного ресурса работы узлов и механизмов до 2 раз; – увеличение полезной мощности механизмов различного типа от 5 % до 15 %; – увеличение ресурса масел до 2 раз; – снижение электрохимических коррозионных процессов; – снижение вредных выбросов двигателей внутреннего сгорания (ДВС); – увеличение выносливости механизмов в режиме масляного голодания

№ п.п.	Топливо-энергетический ресурс	Наименование мероприятия	Применяемые технологии, оборудование и материалы	Экономический эффект
9	Электрическая энергия	Применение прогрессивных систем освещения зданий, терригорий и акватории порта с использованием светодиодных источников света	Применение энергосберегающих источников света, в том числе светодиодных, позволяет существенно сократить, как затраты электроэнергии на освещение, так и затраты на обслуживание системы освещения и утилизацию ламп	До 80 %
10	Электрическая энергия	Установка автоматизированной системы технического учета электрической энергии (АИИС ТУЭ), охватывающей наиболее крупных потребителей	Процессы, происходящие на объектах автоматизации, отображаются на автоматизированных рабочих местах - реализуются управление, мониторинг, диагностика, контроль потребления электроэнергии, а также администрирование, документооборот и диагностика аварийных состояний электрооборудования	5–25 %
11	Электрическая энергия	Повышение надежности электрических контактов. Диагностика контактных соединений на основе применения термоиндикаторов	Термоиндикаторы – сложные вещества, которые при достижении определенной температуры резко изменяют свой цвет за счет химического взаимодействия компонентов. Изготавливаются в виде наклеек разного (необходимого) размера с разным диапазоном температур (от 40 до 260 °С). Термоиндикаторы могут быть нереверсивные одноразовые или реверсивные многоразовые. Наряду с термоиндикаторами, применяются термоиндикаторные композиции (термокраски), изменяющие окраску при достижении определенной температуры	Мероприятие направлено не на экономию ТЭР, а на повышение надежности электрических контактов. Целесообразность применения термоиндикаторов обосновывается возможностью предотвращения возникновения локальных и глобальных пожаров, ущерб от которых может многократно превысить затраты на применение индикаторов
12	Электрическая энергия	Повышение надежности контактных соединений на основе применения электропроводящей смазки ЭПС-98 (на основе показаний термоиндикаторов).	Смазка ЭПС-98 предназначена для снижения и стабилизации электрического сопротивления разборных контактных соединений	В соответствии с требованиями ГОСТ 10434, ЭПС-98 обеспечивает: – снижение переходного контактного сопротивления в 2...10 раз и стабилизацию его на низком уровне на весь срок службы контактов при температурах до 150 °С (крайне редко до 250 °С); – защиту контактов при многократных и длительных токовых перегрузках и перегревах до 150 °С без заметного изменения исходных электрических показателей; – защиту электрических контактов от коррозии; – снижение потерь электроэнергии

№ п.п.	Топливно-энергетический ресурс	Наименование мероприятия	Применяемые технологии, оборудование и материалы	Экономический эффект
13	Дизельное топливо	Организация берегового электропитания для заходящих судов		Зависит от условий предоставления питания
Обслуживающий флот				
14	Дизельное топливо	Использование природного газа как топлива для судов в комбинации с дизельным топливом	Использование нетрадиционных и альтернативных топлив (в том числе: природного газа - компримированного КИПГ и сжиженного СПГ, синтетических спиртов, водорода и проч.). Применение энергетических установок, гибко переоборудовывающихся на различные топлива	Сокращение выбросов парниковых газов; размер экономии требует индивидуальных расчетов
15	Дизельное топливо	Реализация организационно-технических мероприятий по оптимизации логистики перемещения судна	1. Полное использование транспортных характеристик судна – грузоподъемности, грузоместимости и т.д. 2. Выбор схем наиболее рационального перемещения грузов. 3. Выбор оптимальных скоростей движения судна. 4. Обеспечение надлежащего состояния корпуса судна и его движителей (в том числе – окраска корпуса судна красками, снижающими сопротивление движению)	
16	Дизельное топливо	Модернизация оборудования главных и вспомогательных установок судна в целях улучшения энергетических характеристик	Замена главных двигателей и иного оборудования на более современное энергетически эффективное	2-6%
17	Дизельное топливо	Использование тепловых насосов в качестве замены вспомогательных котлов		3-5%
18	Дизельное топливо	Оборудование главных и вспомогательных двигателей системами использования вторичных энергоресурсов основанных на когенерации и тригенерации энергии	Когенерация и тригенерация энергии – схемы глубокой утилизации вторичных энергетических ресурсов для получения механической энергии, теплоты, «холода», пресной воды и др.	До 10%
Сокращение выбросов				
19		Установка на обслуживающих судах систем очистки отработавших газов (газовых катализаторов)	Позволяет использовать тяжелые виды топлива (дешевые, но с большим содержанием серы 2,2%) по сравнению с более дорогим малосернистым. Контроль выбросов вступает в силу в зонах контроля выбросов (ЕСА) в 2015 г., а в 2020 г. по всему миру	Система обеспечивает снижение содержания $S_{ос}$ до уровня 0,1%, что соответствует нормативам ИМО

В заключение важно отметить, что решение проблемы энергосбережения в промышленно-развитых странах достигается на основе реализации энергетического менеджмента – процесса оптимизации управления использованием энергии [13]. Целью энергетического менеджмента является внедрение в текущие управленческие практики процессов управления использованием энергии. В связи с этим системы энергоменеджмента могут быть разработаны как для отдельных организаций (судоходных компаний, ГБУВП и С, портов и др.), так и для подотрасли в целом.

Выводы

Подпрограмма «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на транспорте» устанавливает лишь общие целевые индикаторы и показатели, практически не применимые на внутреннем водном и морском транспорте. Для объектов водного транспорта в связи с его спецификой такие индикаторы следует разрабатывать и утверждать.

Исполнение Федерального Закона РФ от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации (с изм. и доп.) [4] и иных постановлений правительства РФ в полной мере касается водного транспорта и, в первую очередь, его инфраструктуры как объектов, осуществляющих регулируемые виды деятельности.

Для результативного подхода к повышению энергетической эффективности на водном транспорте необходима разработка и утверждение методик установления индикаторов и оценки энергоэффективности как для основного ядра – судоходных компаний, так и для инфраструктуры, а также с целью отражения специфики создания дополнительных форм к энергетическому паспорту для отдельных объектов инфраструктуры: гидросооружений, портов и терминалов, а также судов вспомогательного флота (ледоколов, судов сопровождения и др.).

Доработанная и утвержденная методика энергетического обследования объектов инфраструктуры будет являться первым шагом на пути создания систем энергетического менеджмента – внедрения в текущие управленческие практики процессов управления использованием энергии.

Список литературы

1. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 г. // Государственная программа РФ: Постановление Правительства РФ от 27.12.2012 г. – № 2446-р.
2. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г.: Постановление Правительства РФ от 22.11.2008 г. – № 1734-р.
3. О плане мероприятий по совершенствованию регулирования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 27.09.2012 г. – № 1794-р.
4. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации (с изм. и доп.): Федеральный закон от 23.11.2009 г. – № 261-ФЗ.
5. Об утверждении требований к энергетическому паспорту, составленному по результатам обязательного энергетического обследования и энергетическому паспорту, составленному на основании проектной документации, и правил направлений копий энергетического паспорта, составленного по результатам обязательного энергетического обследования: Приказ Минэнерго РФ № 182 от 19.04.2010 г.
6. *Ерофеев В. Л.* Теория и практика проведения энергетических обследований на водном транспорте / В. Л. Ерофеев, Е. В. Ерофеева // Журнал университета водных коммуникаций. – 2012. – Вып. 1 (XIII). – С. 61–66.

7. Об установлении требований к программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности субъектов естественных монополий, оказывающих услуги по использованию инфраструктуры внутренних водных путей, на 2013–2015 гг.: Приказ Федеральной службы по тарифам от 30 марта 2012 г. – № 217-т.

8. Об установлении требований к программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности субъектов естественных монополий, оказывающих услуги в транспортных терминалах и портах, на 2013–2015 гг.: Приказ Федеральной службы по тарифам от 30 марта 2012 г. – № 219-т.

9. Временные руководящие принципы в методе вычисления проектного индекса энергетической эффективности для новых судов (ЕЕДИ) MERC.1 / Circ. 681 от 17.08.2009 г.

10. Временные руководящие принципы добровольной проверки индекса энергетической эффективности MERC.1 / Circ. 682 от 17.08.2009 г.

11. Руководство для разработки плана управления энергетической эффективностью судна (SEEMP) MERC.1 / Circ. 683 от 17.08.2009 г.

12. Руководящие принципы добровольного использования действующего (эксплуатационного) показателя (индикатора) энергетической эффективности судна (ЕЕОИ) MERC.1 / Circ. 684 от 17.08.2009 г.

13. Системы энергоменеджмента: Требования и руководство по использованию: международный стандарт ИСО 50001. – 2011.

14. *Ерофеев В. Л.* Эксергетический метод оценки энергетической эффективности топливоиспользования / В. Л. Ерофеев. — СПб.: СПГУВК, 2010.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ

УДК: 656.615

М. В. Ботнарюк,
канд. экон. наук,
Государственный морской
университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова

РОССИЙСКИЙ РЫНОК СТИВИДОРНЫХ УСЛУГ И ОСОБЕННОСТИ ЕГО РАЗВИТИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

THE RUSSIAN MARKET OF STEVEDORING SERVICES AND FEATURES OF ITS DEVELOPMENT AT PRESENT STAGE

В статье представлена характеристика отечественного рынка стивидорных услуг. Выявлена отраслевая специфика и основные факторы его формирования и развития. Представлен механизм взаимодействия продавцов и покупателей на примере порта Новороссийск. Определены в контексте морских бассейнов страны индексы концентрации рынка. Предложена трактовка рынка стивидорных услуг, в которой акцентировано внимание на значимости экономических отношений, сформированных между продавцом и покупателем в процессе оказания услуг. На основании проведенных исследований сделан вывод о необходимости учета при разработке стратегий развития рынка не только экономических, но и политических факторов, которые в значительной степени формируют рыночную среду.

The characteristic of the domestic market of stevedoring services is presented in article. Branch specifics and major factors of its formation and development are revealed. The mechanism of interaction of sellers and buyers on the example of the port of Novorossiysk is presented. Indexes of concentration of the market are defined in the context of sea basins of the country. The treatment of the market of stevedoring services in which the author focuses attention on the importance of the economic relations created between the seller and the buyer in the course of rendering services is offered.

Based on the research concluded that the development strategies take into account not only the economic, but also political factors which forming the market environment largely.

Ключевые слова: рынок стивидорных услуг, отраслевая специфика, особенности развития.

Key words: market of stevedoring services, branch specific, features of development.

СОВРЕМЕННОЕ понятие рынка как экономического механизма эволюционировало в течение нескольких столетий. И если во времена становления торговли он рассматривался как базар или место розничной торговли, то в дальнейшем экономисты определили данную категорию как систему экономических отношений, формируемых между продавцом и покупателем в процессе оказания услуги или продажи товара.

Следует отметить, что между рынком товаров и рынком услуг существуют некоторые отличия, что обусловлено спецификой услуги: неосязаемость, невозможность создания запасов, более высокие требования к персоналу в контексте их общения с потребителями и др. Вместе с тем, вне зависимости от специфических особенностей построения и развития указанной системы отношений, цель ее функционирования состоит в обеспечении наличия механизма для привлечения покупателей и совершения трансакций. Таким образом, эффективное развитие рынка базируется на трех основных составляющих: покупатель, продавец и механизм обеспечения реализации сделки, и зависит от ряда факторов, которые можно структурировать на *внутренние* и *внешние*. Под внешними, в рамках данной статьи, будем понимать политические, экономические, социокультурные, технологические и природно-климатические факторы, действующие на рынок в одностороннем порядке. Внутренние факторы – это потребители, конкуренты, посредники, поставщики ресурсов, финансовые и иные институты. Особо следует подчеркнуть, что значительное влияние на форми-

рование рынка оказывает специфика товара или услуги, а также отрасль, в которой он функционирует. В связи с этим рассмотрим механизм функционирования российского рынка стивидорных услуг и выявим особенности его формирования и развития.

Стивидорные услуги – это услуги по обеспечению перевалки грузов с одного вида транспорта на другой, включая иные дополнительные услуги по хранению, сертификации, экспедированию грузов, что обусловлено спецификой деятельности отдельных стивидорных компаний. Также под данного рода услугами понимают услуги по выполнению погрузочно-разгрузочных операций и укладки грузов на судне. Согласно приведенной трактовке, рынок стивидорных услуг представляет собой систему экономических отношений, которые формируются между продавцом и покупателем в процессе оказания услуг по обеспечению перевалки грузов и иных сопутствующих услуг (транспортно-экспедиторское обслуживание, хранение грузов и т.д.). Данный рынок развивается под воздействием как внутренних, так и внешних факторов. При этом особо отметим, что в силу специфики отрасли морского транспорта, стивидорные компании, как правило, являются участниками внешнеэкономической деятельности, так как через их причальные фронты перегружаются не только каботажные, но и внешнеторговые грузы (табл. 1) [1], [2]. В этой связи деятельность рынка стивидорных услуг в значительной мере подвержена влиянию мировой торговли.

Таблица 1

Динамика каботажных и внешнеторговых грузов, обрабатываемых отечественными стивидорными компаниями за период 2007–2013 гг., млн т

Виды грузов	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Итого:	451,1	454,6	496,4	525,9	535,6	567,1	589,0
Экспорт	351,0	343,9	385,0	404,2	409,7	447,4	460,1
Импорт	37,7	42,1	27,4	39,3	44,7	47,6	48,4
Транзит	38,3	39,4	45,1	45,9	49,4	40,3	44,5
Каботаж	24,0	29,3	39,0	36,5	31,8	31,8	36,0

Исследуем особенности рынка стивидорных услуг на примере отдельного морского порта. В качестве пояснения отметим, что объектом исследования выбран порт Новороссийск, поскольку в течение длительного периода времени он занимает ведущие позиции в отрасли: его доля составляет около 20 % от грузооборота всех морских портов страны (рис. 1) [1], [2].

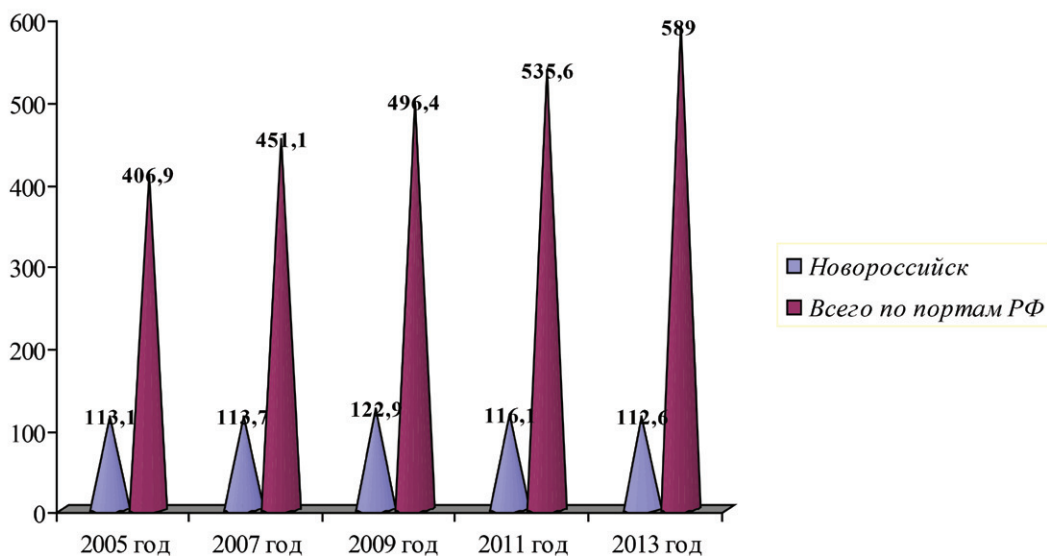


Рис. 1. Грузооборот порта Новороссийск за 2005–2013 гг. в сравнении с общим грузооборотом портов РФ, млн т

Как отмечалось ранее, рынок стивидорных услуг состоит из продавцов и покупателей. Продавцами являются стивидорные компании, а в качестве покупателей выступают грузовладельцы и перевозчики. Это обусловлено тем, что стивидорные компании предоставляют услуги как грузу (перевалка, оформление счетов фактур за погрузочные операции, хранение и т.д.), так и судну (швартовные операции, декларирование воды, услуги по снятию с судна мусора и др.).

В качестве перевозчиков на морском транспорте, как правило, выступают судовладельцы (лица, эксплуатирующие судно от своего имени, независимо от того, являются ли они собственником судна или используют его на ином законном основании). Судовладельцем также может считаться и фрахтователь, который эксплуатирует судно на основе договоров тайм-чартера или бербоут-чартера. В соответствии со ст. 13 КТМ [3] судовладельцем может выступать также собственник судна. Таким образом, в рамках данной статьи в качестве покупателей портовых услуг выступают грузовладельцы и судовладельцы.

Практика свидетельствует о том, что сегодня при обработке судозахода в порту существует следующая обобщенная схема взаимодействия продавцов и покупателей портовых услуг, приведенная на рис. 2, из которой видно, что покупатели услуг вступают во взаимоотношения с разными компаниями, в том числе со стивидорной. Покупатели со стороны груза предоставляют стивидорной компании инструкции по оформлению грузовых документов, выставлению счетов фактур за оказанные услуги и т.д. Как правило, они контактируют через экспедиторскую компанию, с которой у грузоотправителя и стивидора заключен договор на оказание следующего рода работ:

- погрузочно-разгрузочных работ;
- услуг по крытому и открытому хранению;
- услуг по транспортно-экспедиторскому обслуживанию;
- других сопутствующих услуг.



Рис. 2. Схема взаимодействия покупателей и продавцов портовых услуг при обработке судозахода (на примере порта Новороссийск)

Покупатели со стороны судна вступают во взаимоотношения со стивидорами также через посредника – агентскую компанию или агента судна. С этой целью стивидорная и агентская компании заключают договор об оказании агентских услуг, в который включены следующего рода услуги:

- оказание швартовных операций (швартовка, отшвартовка, перешвартовка, перетяжка судна вдоль причала);
- декларирование и предоставление судну воды;
- снятие мусора с борта судна;
- выдача пропусков на посещение режимной территории и др.

Таким образом, механизм взаимодействия продавцов и покупателей на рынке стивидорных услуг можно представить в виде рис. 3.



Рис. 3. Механизм взаимодействия продавцов и покупателей на рынке стивидорных услуг (на примере порта Новороссийск)

Практика показывает, что отечественные стивидорные компании обрабатывают как сухие, так и наливные грузы в каботажном, экспортном, импортном и транзитных направлениях. При этом в течение длительного периода наблюдается положительная динамика роста грузооборота (табл. 2) [1], [2].

Таблица 2

**Динамика грузопотоков, проходящих через причальные фронты России
за период 2007–2013 гг., млн т**

Виды грузов	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Итого	451,1	454,6	496,4	525,9	535,6	567,1	589,0
Сухие	186,6	191,8	198,4	211,5	234,6	251,8	255,7
Наливные	264,4	262,8	298,0	314,4	300,9	315,3	333,3

Особо следует выделить такой грузопоток как контейнеры, объемы перевалки которых также имеют положительную динамику (рис. 4) [1], [2]. Как видно из рисунка, в последнее время контейнерооборот отечественных стивидорных компаний увеличивается достаточно высокими темпами. Так, в 2011 г. темп роста составил 155,73 % по сравнению с 2009 г., а в 2013 г. (к 2011 г.) – 112,69 %. Анализ перспектив развития морских портов России, выполненный на основе результатов прогнозирования их грузовой базы, также выявил тенденцию роста грузооборота (табл. 3) [2].

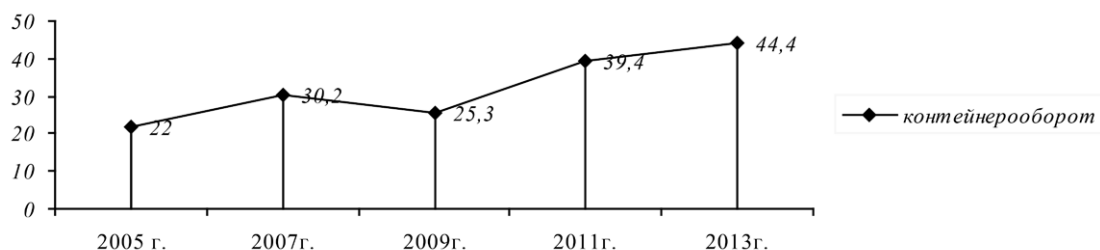


Рис. 4. Динамика контейнерооборота морских портов России за 2005–2013 гг., млн. т

Таблица 3

**Прогноз развития грузовой базы российских портов
на период до 2015–2020–2030 гг., млн т**

Грузы	2015 г.	2020 г.	2030 г.
Всего	725,2	879,04	985,4
Нефть сырая	397,5	435,1	459,2
Нефтепродукты	251,1	261,6	276,6
Прочие	30,4	48,8	56,0
Сухие, в т. ч.	327,7	443,94	526,2
– навалочные:	149,8	196,8	231,2
уголь и кокс	102,2	131,5	151,9
руды и концентраты	13,9	24,4	27,2
химические (минеральные удобрения)	24,8	29,1	39,6
сахар	2,4	2,6	2,7
Прочие навалочные, в том числе	6,5	9,2	9,8
– зерно	26,6	34,14	37,6
– лесные	8,1	12,4	13,0
– генеральные:	143,2	200,6	244,4
металлы не в деле	43,6	51,2	55,6
машины и оборудование	4,5	6,8	6,9
скоропортящиеся	5,5	8,1	8,2
контейнеры	58,3	98,4	135,5
паромы	14,4	17,9	19,2

Стратегия дальнейшего развития морской портовой инфраструктуры также предполагает рост объема портовых мощностей, что обусловлено увеличением объемов грузов, проходящих через причальные фронты отечественных портов [4].

На основании анализа конкурентной ситуации, сложившейся на рынке стивидорных услуг на современном этапе, можно сделать вывод о том, что внутри каждого бассейна существует достаточно жесткая конкуренция. Индексы концентрации, рассчитанные по морским бассейнам, показывают, что по наливным, сухим, внешнеторговым и каботажным грузам выделяется категория «лидеры» (незначительное количество портов, на долю которых приходится более 70 % грузооборота бассейна) и категория «остальные порты», участвующие в борьбе за оставшуюся часть грузов (табл. 4) [1].

Таблица 4

**Индексы концентрации рынка стивидорных услуг,
рассчитанные по морским бассейнам страны за 2013 г.**

Виды грузов	Индекс концентрации		Количество портов	
	Лидеры	Остальные порты	Лидеры	Остальные порты
Арктический бассейн				
Наливные	0,98	0,02	4	4
Сухие	0,88	0,12	2	11
Внешнеторговые	0,93	0,07	3	6
Каботажные	0,76	0,24	3	10
Балтийский бассейн				
Наливные	0,88	0,12	3	3
Сухие	0,84	0,16	2	3
Внешнеторговые	0,97	0,03	3	3
Каботажные	0,82	0,18	2	2
Азово-Черноморский бассейн				
Наливные	0,89	0,11	2	7
Сухие	0,58	0,42	2	9
Внешнеторговые	0,77	0,23	2	9
Каботажные	0,89	0,11	3	4
Тихоокеанский бассейн				
Наливные	0,85	0,15	4	10
Сухие	0,81	0,19	4	13
Внешнеторговые	0,77	0,23	4	13
Каботажные	0,64	0,36	4	14
Каспийский бассейн				
Наливные	0,98	0,02	1	2
Сухие	0,67	0,33	1	2
Внешнеторговые	0,90	0,10	1	2
Каботажные	0,99	0,01	2	1

Исследования, проведенные по морским портам в 2010–2012 гг., позволили сделать вывод о том, что погрузочно-разгрузочные операции на территории каждого порта осуществляют не менее четырех стивидорных компаний (рис. 5) [1], [2]. Например, согласно статистическим дан-

ным за 2012 г., в порту Новороссийск работают 6, а в порту Санкт-Петербург – 25 операторов морских терминалов, обслуживающих в основном одни и те же грузопотоки, что доказывает формирование конкурентной среды на уровне отдельно взятого порта. Особо отметим, что сегодня стивидорные компании вынуждены работать в условиях рецессии российской экономики: начиная с 2013 г. зафиксирован спад во многих отраслях производства и сельского хозяйства, предприятия которых являются покупателями стивидорных услуг со стороны груза. Например, уменьшились объемы перевалки таких грузов, как черные металлы (до 22 млн т (на 14 %), зерна – до 18,3 млн т (на 23,4 %), лесных грузов до 4,4 млн т (на 25,9 %) [1]. При этом, по мнению аналитиков, сокращение объемов некоторых грузопотоков, например, черных металлов, вызвано снижением потребностей мирового рынка [5]. Таким образом, можно сделать вывод, что в настоящий момент в сфере стивидорного бизнеса наблюдается жесткая конкурентная среда, сформированная под влиянием экономических факторов на отечественном и международном уровнях.

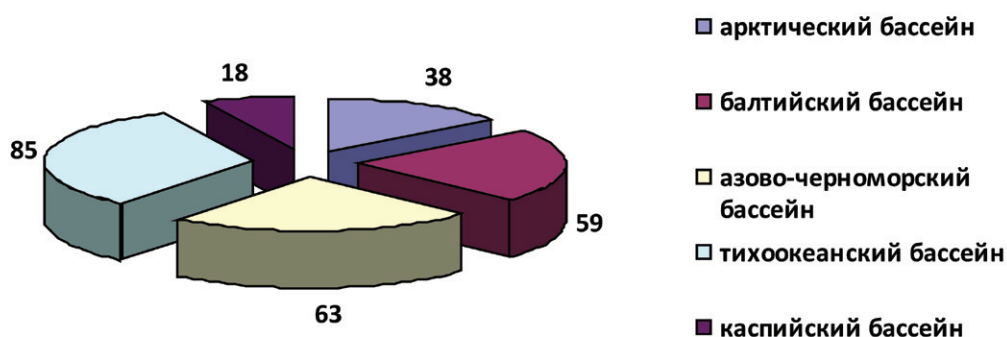


Рис. 5. Количество стивидорных компаний в морских портах

Учитывая, что стивидорные компании сегодня являются стратегически важными для развития народного хозяйства страны субъектами, государство уделяет их развитию пристальное внимание, особенно в области формирования цен. Так, в недавнем прошлом, когда ценообразование стивидорных услуг находилось под надзором Федеральной службы по тарифам, компании самостоятельно рассчитывали цены, которые после соответствующей проверки утверждались приказом [6]. Однако, начиная с 2010 г., поэтапно проводится реформа по дерегулированию цен на стивидорные услуги. В качестве эксперимента было принято решение об отмене системы государственного регулирования цен в Большом порту Санкт-Петербург. Позднее регулирование цен отменили и в компаниях, осуществляющих свою деятельность на территории других морских бассейнов. Вместе с тем, Федеральная служба по тарифам оставила за собой мониторинг цен: сегодня стивидорные компании обязаны предоставлять информацию согласно установленной формы. Такой порядок ценообразования, с одной стороны, дает возможность продавцам быстро реагировать на изменение рыночной конъюнктуры, а с другой, – обеспечивает прозрачность их деятельности. Также ожидается, что некоторые стивидорные компании будут исключены из реестра естественных монополий. При этом ограничения будут наложены только на некоторые порты арктического бассейна (Крайнего Севера) [7]. Вместе с тем, сегодня уже готовятся поправки в закон об иностранных инвестициях, при условии вступления в силу которых стивидорные компании, регулирующие цены на тарифы самостоятельно, обязаны предварительно согласовывать с правительством сделки с участием иностранных инвесторов [7].

Таким образом, обобщая результаты проведенных исследований, можно сделать следующие выводы. На современном этапе российский рынок стивидорных услуг функционирует

под влиянием ряда эндогенных и экзогенных факторов, которые в значительной степени ограничивают свободу выбора направлений и стратегий развития стивидорных компаний. С одной стороны, их деятельность подвержена сильному влиянию внутренних факторов, включая как взаимодействие продавцов и покупателей, так и жесткую конкурентную среду не только на микроуровне (внутри каждого порта захода), но и на мезоуровне (между портами отдельно взятого морского бассейна). С другой стороны, практически все стивидорные компании являются участниками внешнеэкономической деятельности, поскольку через их причальные фронты перегружаются внешнеторговые грузопотоки. В этой связи можно смело говорить о воздействии на стратегии развития компаний политических и экономических факторов отечественной и международной среды.

В настоящее время российская экономика находится в состоянии рецессии, которая в некоторой мере нарушает привычный порядок работы стивидорных компаний и, соответственно, развитие рынка стивидорных услуг. В этой связи, а также учитывая сложившуюся годами практику вмешательства государства в деятельность стивидорных компаний, можно сделать вывод о том, что рынок стивидорных услуг развивается с учетом отраслевых особенностей в динамично изменяющейся среде и при разработке стратегий его развития на микро-, мезо- и макроуровнях данные обстоятельства необходимо признавать в качестве решающего фактора.

Список литературы

1. Грузооборот портов РФ в 2013 г. вырос на 3,9 % – до 589 млн. т. – <http://ria.ru/economy/20140114/989126015.html#13970815344383&message=resize&relto=register&action=addClass&value=registration> (дата обращения 27.10.2013).
2. Стратегия развития морской портовой инфраструктуры России до 2030 г. (проект). – http://www.rosmorport.ru/media/File/State-Private_Partnership/strategy_2030. (дата обращения 27.10.2014).
3. ФЗ «Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации» от 07.03. 2001 г. № 24-ФЗ. – <http://base.consultant.ru> (дата обращения 27.10.2014).
4. 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.
5. Ноль лучше минуса. – <http://vzglyad.ru/economy/2014/1/22/669118.html> (дата обращения 27.10.2014).
6. Приказ Федеральной службы по тарифам от 26.03.13 г. № 52-т/1 «Об изменении регулирования деятельности субъектов естественной монополии в морском порту Новороссийск». – <http://base.garant.ru/> (дата обращения 27.10.2014).
7. Стивидорный бизнес станет стратегическим благодаря поправкам правительства. – <http://www.mn.ru/business/20130226/338563798.html> (дата обращения 27.10.2014).

УДК 330.35

Л. А. Еникеева,
д-р экон. наук, профессор,
Санкт-Петербургский государственный
экономический университет;

Е. К. Торосян,
канд. экон. наук,
Санкт-Петербургский национальный исследовательский
университет информационных технологий механики и оптики;

Т. Б. Фейлинг,
канд. пед. наук,
Государственная полярная академия

ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИЙ РАЗВИТИЯ МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА РФ НА ФОНЕ КРИЗИСНЫХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ МИРОВЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

FORMATION OF THE STRATEGIES FOR DEVELOPMENT OF SEA AND RIVER TRANSPORT OF THE RUSSIAN FEDERATION AGAINST A BACKGROUND OF CRISIS PROCESSES IN THE CONTEXT OF GLOBAL INSTABILITY OF THE WORLD ECONOMIC SYSTEMS

В статье рассматривается влияние эффекта глобальной нестабильности мировых экономических систем на формирование стратегий развития экономических систем на примере транспортной системы Российской Федерации. Изучена роль развития подсистемы морского и речного транспорта Российской Федерации в условиях инновационной экономики как системообразующего фактора, способного создать условия экономического роста, реализовать ее инфраструктурный потенциал, повысить конкурентоспособность, обеспечивая рост качества жизни. Изучены процессы экономического развития мир-систем, в рамках единой мир-системы и механизмы взаимодействий кризисных явлений в них. Рассмотрены причины возникновения всех типов кризисных процессов в условиях глобальной нестабильности с целью их локализации и разработки стратегий устойчивого развития на институциональном уровне.

The article discusses the impact of the effect of global instability of world economic systems on the formation of strategies for the development of economic systems on the example of the national transport system of the Russian Federation. The role of the subsystem of sea and river transport of the Russian Federation against a background of the innovation economy as a system forming factor that can provide the conditions for economic growth, implement its infrastructure capacity, improve competitiveness, providing growth in the quality of life. The processes of economic development of the world-systems within a single world system, the mechanism of interaction of the crisis. Expressed causes of all types of crisis processes in the context of global instability to their localization and the development of strategies for sustainable development at the institutional level.

Ключевые слова: глобальная нестабильность экономических систем, классификация кризисов, инновационная модель развития, интеллектуально-информационный капитал, человеческий капитал, инфраструктурный капитал, рыночный капитал, нематериальная составляющая экономического роста.

Key words: global instability of economic systems, classification of crises, innovative model of development, intellectual and information capital, human capital, infrastructure capital, market capital, intangible component of the economic growth.

В УСЛОВИЯХ глобальной нестабильности мировых экономических систем возрастает роль интеллектуально-информационного капитала как стратегической возможности национального развития на качественно новом уровне. В основных направ-

лениях деятельности правительства Российской Федерации на период до 2018 г. отмечается активизация финансовых вложений других стран в таких приоритетных областях, как новые материалы, нано- и информационные технологии, фармацевтика и биотехнологии, микроэлектроника, системотехника, фотоника. Высокими темпами обновляются технологии в образовании и здравоохранении. На мировых рынках обостряется конкурентная борьба за доступ к ресурсам, обеспечивающим технологический рост, включая редкоземельные металлы [1]. Отмечается также и то, что для России потенциал роста в рамках ее прежней экспортно-сырьевой модели практически исчерпан, поэтому необходима «...активизация новых факторов конкурентоспособности российской экономики, ранее остававшихся задействованными не в полной мере (уровень образования населения, научный и технологический потенциал), преодоления инфраструктурных и институциональных ограничений социально-экономического развития и достижения высоких показателей производительности труда» [1, с. 5] Следует переходить от экспортно-сырьевой модели экономического роста к национальной инновационной модели [1].

Рассмотрим влияние кризисных процессов на формирование стратегий развития экономических систем на примере транспортной системы Российской Федерации. Транспортная система РФ является одной из крупнейших системообразующих отраслей, и ее роль в условиях инновационной экономики как системообразующего фактора постоянно возрастает [2]. В рамках документа «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г.» реализация стратегических направлений развития транспортной системы способна обеспечить условия экономического роста, повышения конкурентоспособности национальной экономики и роста качества жизни населения. Подсистема морского и внутреннего водного транспорта в транспортной системе РФ также вносит существенный вклад, позволяя реализовать ее инфраструктурный потенциал. Необходимым условием реализации «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г.» на всех ее этапах является улучшение инвестиционного климата и развитие рыночных отношений на транспорте на основе формирования и отработки механизмов управления инвестициями, в том числе на условиях государственно-частного партнерства.

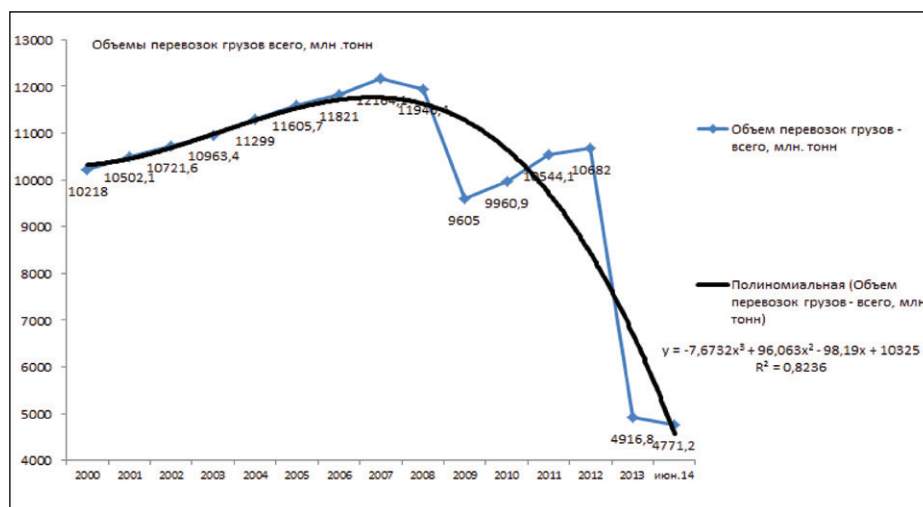
Мировой кризис 2008–2009 гг. и последовавшая за ним экономическая рецессия оказали существенное влияние на динамику объема перевозок грузов и пассажиров, а также на масштабы развития транспортного комплекса страны. На рис. 1 [5], [6] прослеживается нелинейная тенденция снижения объемов перевозок 2008–2009 гг., которая начинает выравниваться лишь к началу 2014 г.

Цепные темпы роста объемов перевозок в 2000–2014 гг. свидетельствуют о существующем кризисе транспортной системы в целом (рис. 2 [5], [6]). Выход из сложившейся кризисной ситуации возможен с началом экономического роста в рамках всей экономической системы Российской Федерации.

Аналогичную понижающую нелинейную тенденцию можно проследить, проанализировав динамику объемов перевозки грузов морским транспортом (перевозки судами, зарегистрированными под Государственным флагом Российской Федерации), что в целом и объясняет провалы 2012–2014 гг. (рис. 3 [5], [6]).

За период с января по июнь 2014 гг. заметного улучшения ситуации не произошло, однако наметились позитивные изменения в объемах перевозок грузов внутренним водным транспортом за счет некоторого улучшения макроэкономических показателей социально-экономического развития РФ за указанный период и активизации отправки грузов водным транспортом общего пользования в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности в рамках стратегии развития территорий (рис. 4 [5]).

а)



б)

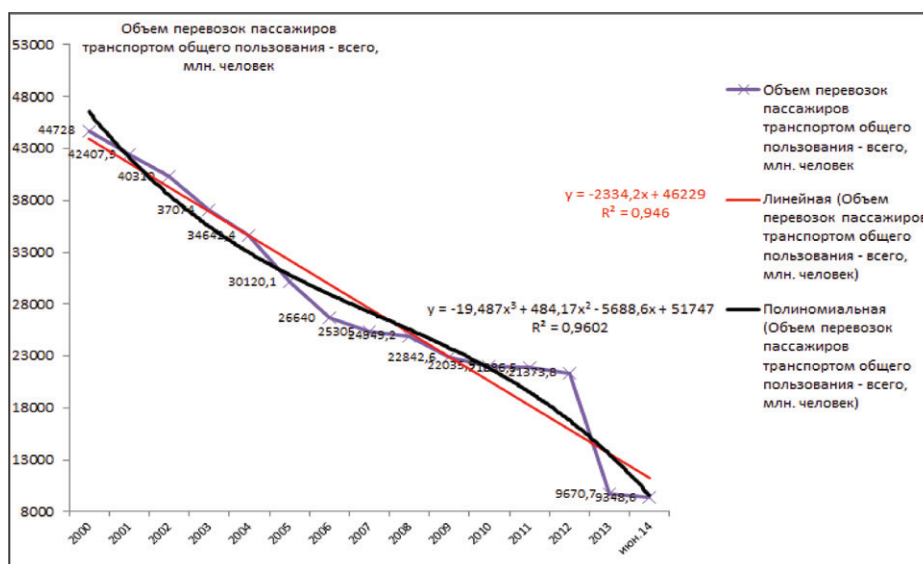


Рис. 1. Динамика объемов перевозки грузов, млн. т (а) и динамика объемов перевозки пассажиров, млн. чел. (б)

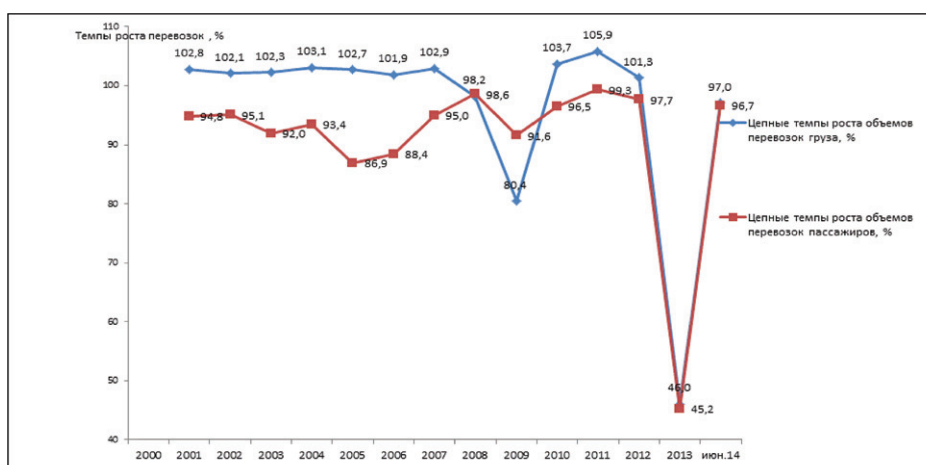


Рис. 2. Темпы роста объемов перевозок за январь 2000 – июнь 2014 гг.

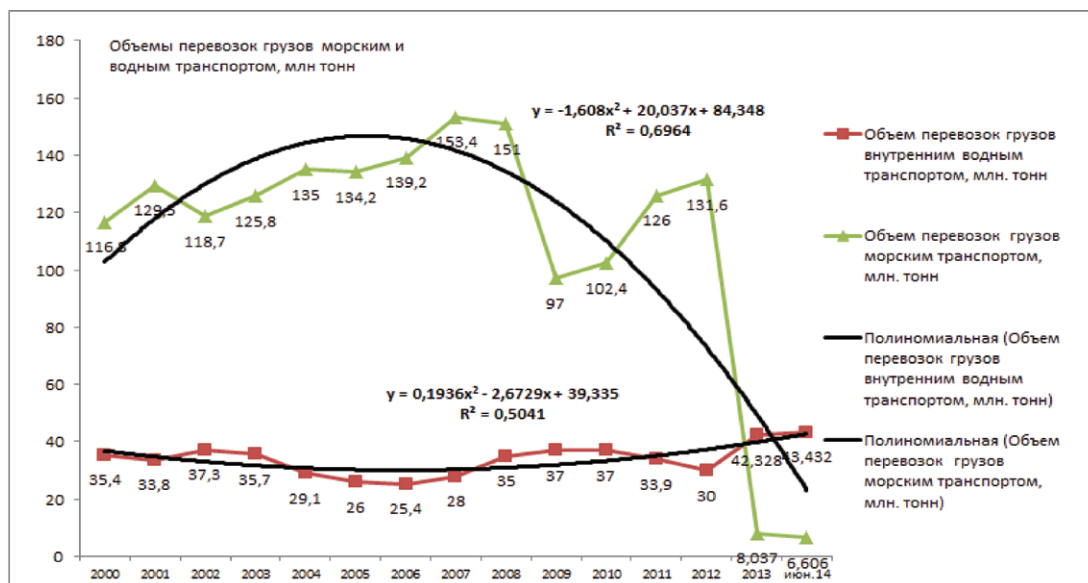


Рис. 3. Динамика объемов перевозки грузов морским и внутренним водным транспортом



Рис. 4. Объемы перевозок грузов водным транспортом

Снижения объемов и темпов роста (падения) перевозок пассажиров транспортом общего пользования за аналогичный период (см. рис. 1 б) синхронизированы падением объемов перевозок пассажиров морским транспортом. К 2013 г. ситуация не улучшилась за счет роста объемов перевозки пассажиров внутренним водным транспортом, что в целом и объясняет провалы 2012–2014 гг. (рис. 5 [5], [6]). Россия стремится стать одним из лидеров глобальной экономики, что требует принятия взвешенных системных стратегических решений по развитию всей транспортной инфраструктуры в комплексе на долгосрочную перспективу. Переломить кризисную ситуацию возможно только при переходе к инновационному, социально ориентированному типу развития всей экономической системы, а не отдельных ее подсистем. Как справедливо отмечает И. М. Валлерстайн в работе «Анализ мировых систем и ситуация в современном мире» [1, с. 99]: «Действительность такова, что мы живем в мире глубокого неравенства, и у нас нет морального права просить кого-то воздержаться от попыток уменьшить это неравенство. Следовательно, мы должны желать «устойчивого развития» для всех, и мы должны признавать требования «культурной» целостности, предъявленные любой группой, любой страной. Если эти требования создают для нас сегодня проблемы, это происходит не потому, что выдвигаются требования, а потому, что ослабевают репрессивные механизмы миросистемы». По мнению этого же ученого, великий всемирный беспорядок может быть вызван не борьбой угнетенных, но кризисом структур, которые их угнетают [1, с. 99].

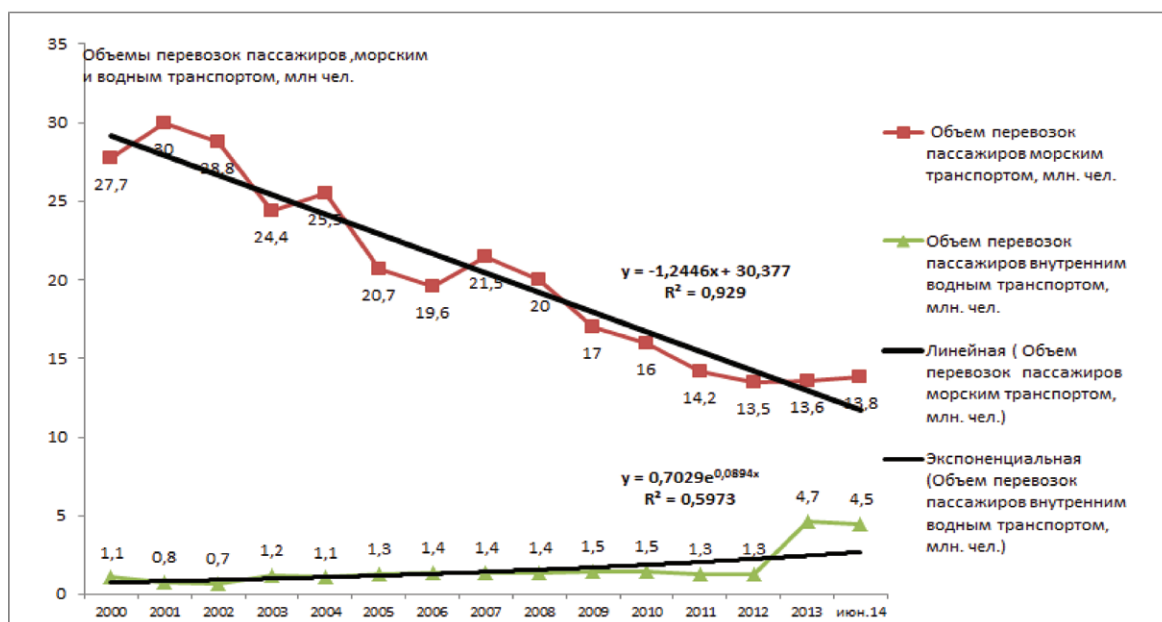


Рис. 5. Динамика объемов перевозки пассажиров морским и внутренним водным транспортом, млн. чел.

И. М. Валлерстайн в работе [3, с. 98] говорит об экономическом росте следующее: «... вообще-то это могут все. Но это не обязательно означает, что страна или, по крайней мере, большинство ее населения будут жить лучше. Состояние страны или населения может фактически ухудшиться, несмотря на видимое “развитие”. Вот почему мы говорим теперь об «устойчивом развитии», подразумевая нечто реальное и прочное, а не статистический миф».

Авторами работ [7] – [10] также отмечается, что достигнутый к настоящему времени уровень глобализации в значительной степени синхронизирует экономическое развитие всех мир-систем, входящих в миросистему. Не до конца изучены механизмы взаимодействий кризисных явлений в мир-системах. Это объясняет тот факт, что кризисы не локализируются в отдельной части земного шара, а довольно быстро распространяются на все континенты, например, в виде кризисов политических институтов системы общества (Египет, Сирия, Украина), финансовых кризисов экономической системы (Греция), кризисов природно-климатической и технологической системы (Япония) и т.д.

Следует отметить, что единая точка зрения относительно причин возникновения кризисов отсутствует. Кризисы, как правило, различаются в зависимости от периода их возникновения и места развертывания кризисных процессов. Например, одной из наиболее распространенных причин кризисов экономических систем считается научно-технический прогресс. Однако это не объясняет возникновения, например, политических кризисов.

В условиях глобальной нестабильности возникает необходимость изучения природы и причин возникновения кризисных процессов с целью их локализации и разработки стратегий устойчивого национального развития на институциональном уровне. Авторами статьи предлагается использование институционального подхода к изучению природы кризисных процессов как кризисов институтов в рамках как экономических, так и политических систем, так как он позволяет объяснить механизм трансфера кризисов из одной системы в другие [4]. Сегодня под кризисами следует понимать кризисы институтов мир-систем в рамках единой миросистемы. Институциональный кризис – это крайняя форма обострения противоречий в мир-системах, угрожающая их целостному существованию в окружающей среде. На рис. 6 и 7 а рассмотрена взаимосвязь ключевых понятий, образующих понятие «институциональный кризис».

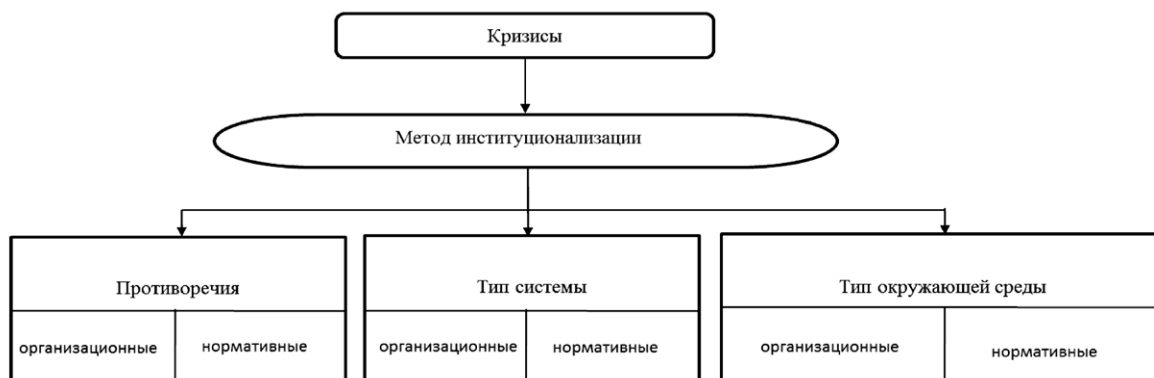


Рис. 6. Структура институциональных кризисов

а)



б)

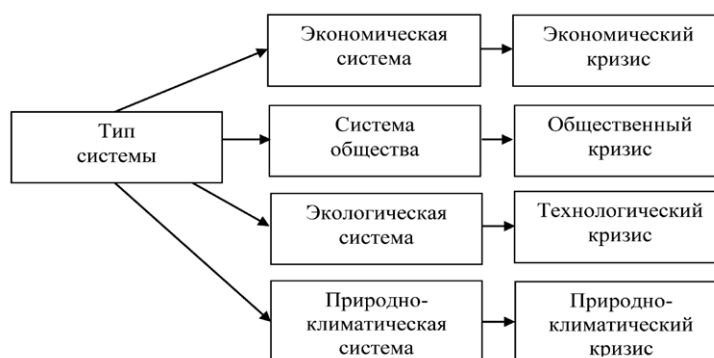


Рис. 7. Классификация институциональных кризисов:
а – по формам противоречий; б – по принадлежности к типам систем

В зависимости от типа системы, в которой накапливаются, нарастают, а затем разрешаются противоречия, институциональные кризисы делятся на кризисы экономической системы, системы общества, экологической системы, природно-климатической системы (рис. 7 б). В зависимости от типа окружающей среды кризисы целесообразно разделять на внутренние и внешние (рис. 8). Деление кризисов на внутренние и внешние по отношению к окружающей среде системы или комплекса систем относительно и зависит от масштаба объекта изучения кризисных явлений.

В экономической системе институциональные кризисы можно разделить на следующие виды (рис. 9): кризис финансовой системы, кризис валютной системы, кризис отраслевой системы, кризис системы управления, кризис системы организации производства.

По структуре институциональные кризисы системы общества можно разделить на следующие виды (рис. 10 а): кризис государственной системы, кризис политических институтов, внешне-политический кризис, кризис институтов власти, кризис партийной системы, кризис институтов как системы, кризис социальных институтов.



Рис. 8. Классификация институциональных кризисов, образующих понятие «окружающая среда»

Институциональные кризисы экологической и природно-климатической систем могут быть вызваны технологическими кризисами, как вызванные загрязнением окружающей среды (рис. 10 б), так и климатическими ее изменениями.

В зависимости от масштаба противоречий кризисы разделяются на макро- и микро- кризисы, от области развития противоречий – на мировой и локальный кризисы (рис. 11 [4]). В зависимости от характера обострения противоречий кризисы следует разделять на явные, скрытые (латентные), предсказуемые (закономерные, например, циклические), случайные, затяжные, кратковременные, глубокие (острые), мягкие (легкие).

Под макрокризисом в рамках одной мир-системы будем понимать кризисные явления, охватывающие все или несколько ее систем одновременно. Микрокризис распространяется на отдельно взятую мир-систему, но он может распространиться и на другие системы, поэтому такое разделение, в силу диффузии противоречий в системах, достаточно условно. В этом случае порождаются глобальные (мировые) и локальные кризисы. Мировой кризис (общесистемный) распространяется на все или большинство систем, локальные – на несколько систем или ее часть, далее могут не распространяться в силу процесса затухания.



Рис. 9. Классификация кризисов экономической системы

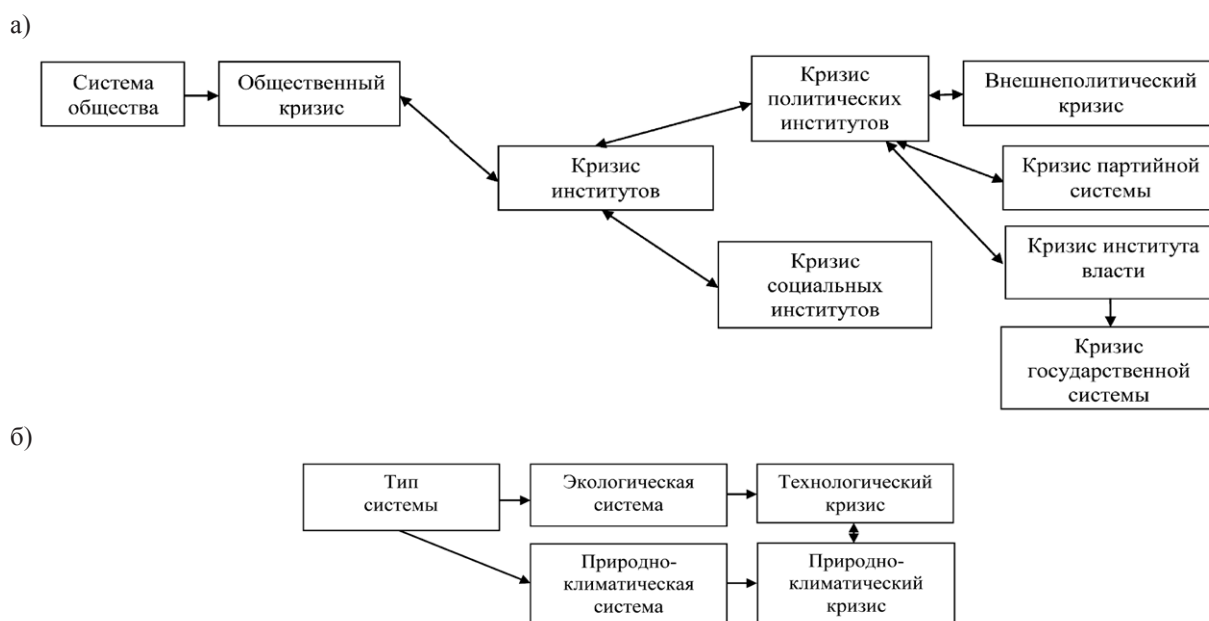


Рис. 10. Классификация институциональных кризисов:
а – системы общества; б – экологической и природно-климатических систем

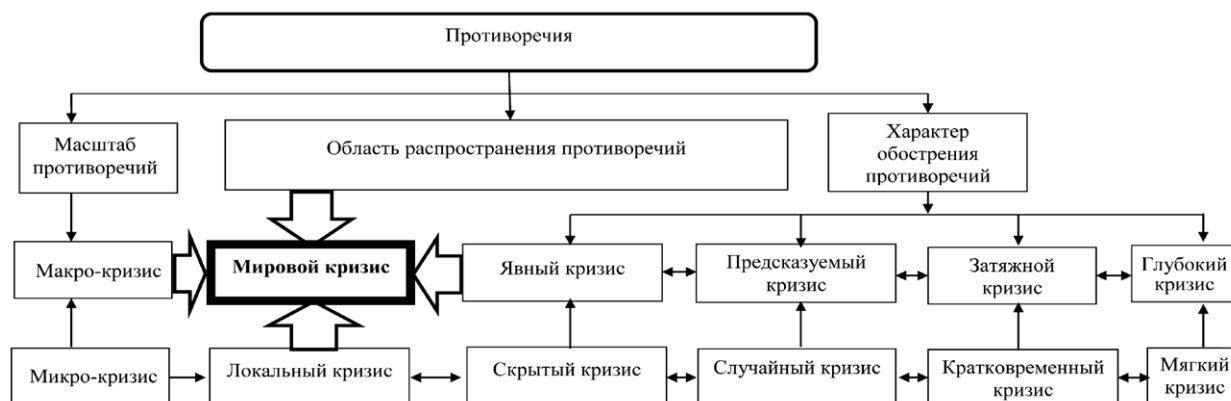


Рис. 11. Классификация институциональных кризисов, формирующих понятие «мировой кризис», или кризис миросистемы

Рассмотрим основные особенности кризисов в зависимости от характера обострения противоречий. Явные кризисы протекают заметно и просто распознаются. Скрытые кризисы развиваются незаметно, часто явно ненаблюдаемы и определены только по косвенным признакам. Предсказуемые кризисы могут прогнозироваться и формируются под воздействием объективных факторов развития систем. Разновидностью предсказуемых кризисов является *циклический кризис*, имеющий известные фазы своего наступления и протекания. Случайные кризисы происходят вследствие обострения противоречий (например, в системе управления) в результате действия сил природы.

Совокупность кризисов также делится на *кратковременные* и *затяжные*. Фактор времени чрезвычайно важен в кризисной ситуации: чем длительнее кризис, тем он проходит болезненнее.

Глубокие кризисы поражают противоречиями всю систему. Легкие, мягкие кризисы протекают локально, если они могут быть ограничены в определенной области системы.

Мировой кризис (общесистемный) распространяется на все или большинство мир-систем, локальные кризисы – на несколько систем или ее часть, далее они могут не распространяться в силу процесса затухания.

На рис. 12 представлен механизм наступления мирового кризиса как этапа циклического развития миросистемы, под которой в эпоху глобализации экономики понимается совокупность мир-систем или цивилизаций.

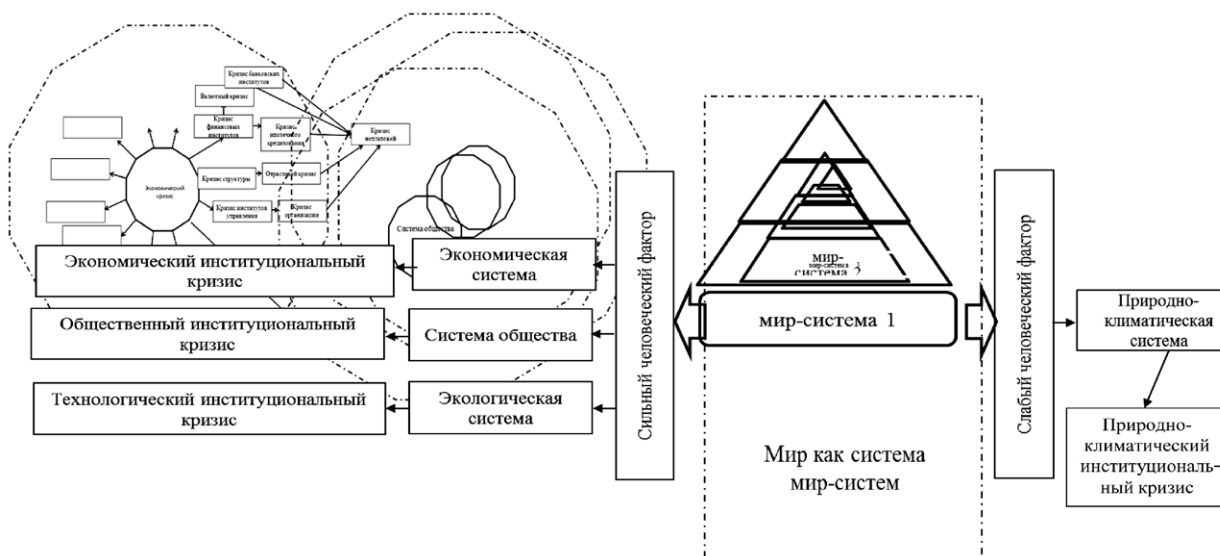


Рис. 12. Трансфер кризисов в миросистеме

Мировой кризис является следствием системной нестабильности мир-систем под воздействием ключевых признаков институционального кризиса – синергии обострения системных противоречий в окружающей среде.

Авторами предлагается под устойчивостью миросистемы понимать сбалансированное существование различных институтов (политических, экономических, социальных и т.п.) в каждой мир-системе, таким образом, чтобы не наступало острых кризисных явлений в одном из этих институтов.

Инновации как атрибут мир-систем могут стать действенным катализатором долговременного и устойчивого экономического роста всей современной миросистемы, что очень важно для преодоления глобальной нестабильности экономических систем. Конечно, распространение интеллектуально-информационных инноваций идет достаточно быстро, если нет искусственных мер их регулирования (например, санкций на распространение и внедрение новых технологий).

В понятие инновационной модели развития мировых экономических систем включаются не только материальные ценности, но и нематериальные составляющие ресурсного потенциала, влияющие на экономический рост и благосостояние населения:

- человеческий капитал как совокупность особенностей отдельных индивидов (различные психологические характеристики, социальный статус, культурные ценности, сохранение которых является большим плюсом не только для населения, но и для мира в целом) является движущим фактором экономического роста в инновационной модели развития миросистемы;
- интеллектуально-информационный капитал (интеллектуальная собственность, знаниевый капитал);
- инфраструктурный капитал, регулирующий институциональные условия функционирования экономических систем (интеллектуальные телекоммуникационные и информационные технологии, методы и процессы управления);

Например, в рамках инновационного развития транспортной системы Российской Федерации предусмотрены следующие мероприятия в области развития человеческих ресурсов:

- сохранение и развитие кадрового потенциала отрасли через внедрение современных систем управления персоналом, нацеленных на эффективное использование человеческих ресурсов и мотивацию работников для эффективной трудовой деятельности;
- совершенствование отраслевой системы подготовки и переподготовки кадров по всем направлениям;
- государственная поддержка развития научных кадров высшей квалификации в транспортной отрасли через стимулирование роста качества профессионального образования работников транспорта, развитие современных компетенций, непрерывное обучение и повышение квалификации персонала;

Предусмотрены следующие мероприятия в области использования интеллектуально-информационного потенциала:

- развитие научного обеспечения международной транспортной интеграции и гармонизации транспортного законодательства стран-участников сотрудничества;
- развитие научных исследований в области повышения безопасности транспортной системы;
- научно-техническая политика транспортной отрасли посредством развития науки и инновационных технологий;
- разработка и внедрение инновационных технологий строительства, реконструкции и поддержания транспортной инфраструктуры;
- создание эффективных моделей и систем прогнозирования и транспортного планирования на основе транспортно-экономического баланса;
- разработка и внедрение инновационных транспортно-логистических технологий, технических средств и систем, обеспечивающих повышение доступности и качества грузовых и пассажирских перевозок;

– разработка и внедрение инновационных интеллектуальных транспортных систем, обеспечивающих эффективное управление транспортными потоками и средствами, а также повышение качества транспортных услуг через внедрение интегрированной электронной системы оформления и сопровождения морских и речных грузовых и пассажирских перевозок;

– создание базы данных (знаний) по высокоэффективным инновационным технологиям строительства, реконструкции и содержания транспортной инфраструктуры с учетом российского и зарубежного опыта.

В сфере использования инфраструктурного ресурсного потенциала запланированы следующие мероприятия:

– организация научных разработок и внедрение инновационных технологий строительства, реконструкции и содержания транспортной инфраструктуры;

– создание инфраструктурных условий перераспределения грузопотоков с наземных видов транспорта на внутренний водный и морской транспорт, а также строительство терминалов, ориентированных на переключение грузопотоков на внутренний водный транспорт;

– на морском транспорте – развитие инфраструктуры Северного морского пути, строительство новых портов и перегрузочных комплексов для комплексного освоения новых территорий и месторождений;

– на внутреннем водном транспорте – переход до 2018 г. на полное финансирование за счет средств федерального бюджета содержания внутренних водных путей по нормативам, утверждаемым правительством Российской Федерации, а также создание инфраструктурных условий перераспределения грузопотоков с наземных на внутренний водный транспорт.

В заключение следует отметить, что формирование стратегий развития морского и речного транспорта Российской Федерации и оценка макроэкономического эффекта реализации «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г.» невозможна без системного мониторинга ключевых индикаторов развития транспортной системы Российской Федерации с учетом макроэкономические показатели социально-экономического развития страны.

Список литературы

1. Основные направления деятельности Правительства Российской Федерации на период до 2018 года [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: [//government.ru/info/761](http://government.ru/info/761).
2. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г.: утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р. (ред. от 11.06.2014) [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: [//http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/94460/#ixzz3FfNBLLsB](http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/94460/#ixzz3FfNBLLsB).
3. Валлерстайн И. Анализ мировых систем и ситуация в современном мире / пер. с англ. П. М. Кудюкина / под общ. ред. Б. Ю. Кагарлицкого. — СПб.: Университетская книга, 2001.
4. Еникеева Л. А. Механизм трансфера кризисов / Л. А. Еникеева, Е. К. Торосян // Вестник ИНЖЭКОНа. — Сер.: Экономика. — 2012. — № 3 (54). — С. 54–61.
5. Транспорт России // Информационно-статистический бюллетень. Январь – июнь 2014 года. [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: [//http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=22699](http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=22699).
6. Морской и речной транспорт. — № 1, 2014 // Тематическое приложение к журналу Транспорт Российской Федерации [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: [//http://www.rostransport.com/magazine/science_transport/08/#/12](http://www.rostransport.com/magazine/science_transport/08/#/12).

7. Коротаев А. В. Законы истории: Математическое моделирование и прогнозирование мирового и регионального развития / А. В. Коротаев, Д. А. Халтурина, А. С. Малков, Ю. В. Божевольнов, С. В. Кобзева, Ю. В. Зинькина. – Изд. 3, суш. перераб. и доп. – М.: УРСС, 2010. – 344 с.

8. Гринин Л. Е. Циклы, кризисы, ловушки современной Мир-системы: исследование кондратьевских, жюглярловских и вековых циклов, глобальных кризисов, мальтузианских и постмальтузианских ловушек / Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев // Grinin L.E. Cycles, Crises, and Traps of the Modern World-System / L. E. Grinin, A. V. Korotayev (In Russian), 2012. – 480 с.

9. Яковец Ю. В. Стратегия инновационно-технологического прорыва / Ю. В. Яковец, Б. Н. Кузык. – М., Междунар. фонд Н.Д. Кондратьева, ИНЭС, 2003.

10. Яковец Ю. В. Прогнозирование циклов и кризисов / Ю. В. Яковец. – М.: МФК, 2000.

УДК 336.01

А. В. Пушкарёва,
д-р экон. наук, профессор,
Государственный экономический университет

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК МОРСКИМ ТРАНСПОРТОМ РОССИИ

THE ANALYSIS AND THE FORECAST OF FREIGHT TRANSPORTATION BY SEA TRANSPORT RUSSIA

Исследованы закономерности изменения грузовых перевозок морским транспортом России в условиях постоянно меняющихся рыночных ситуаций, расширения рыночных отношений и усиления конкурентной борьбы, решение вопросов объективного определения положения предприятия на рынке, определение его конкурентных преимуществ и выявления слабых сторон производственной деятельности, позволяющее обеспечить высокую степень подготовки и принятия управленческих решений, направленных на повышение устойчивости предприятия в рыночной среде с использованием Линии тренда в MS Excel. Полученные математические зависимости были использованы при прогнозе перевозимого груза, что позволило выявить те функции, которые дают возможность выполнить прогнозирования на ближайшие годы с минимальными погрешностями.

Article investigates regularities of change of freight transportation by sea transport of Russia in the conditions of constantly changing market situations, expansion of the market relations and strengthening of competitive fight, the solution of questions of objective definition of position of the enterprise in the market, determination of its competitive advantages and detection of weaknesses of a production activity will allow to provide high extent of preparation and adoption of the administrative decisions directed on increase of stability of the enterprise in the market environment with use of the line of trend in MS Excel. The received mathematical dependences were used at the forecast of the transported freight that allowed to reveal those functions enable forecasting for the next years with the minimum errors.

Ключевые слова: грузовые перевозки морским транспортом, Линия тренда в MS Excel, погрешность расчетов, прогноз грузов перевезенного морским транспортом до 2030 года.

Key words: freight transportation by sea transport, the Line of the Trend in MS Excel, an error of calculations, the forecast of freights transported by sea transport till 2030.



СОВРЕМЕННАЯ экономика определяет конкретные требования к повышению уровня конкурентоспособности организаций, состоящие в необходимости оперативного реагирования на изменение хозяйственной ситуации с целью поддержания устойчивого фи-

нансового состояния и постоянного совершенствования организации деятельности в соответствии с изменением конъюнктуры рынка. При этом усиливается многоаспектное значение показателей конкурентоспособности компаний [1].

В условиях постоянно меняющейся рыночной ситуации, расширения рыночных отношений и усиления конкурентной борьбы решение вопросов объективного определения положения предприятия на рынке, определения его конкурентных преимуществ и выявления слабых сторон производственной деятельности позволит обеспечить высокую степень подготовки и принятия управленческих решений, направленных на повышение устойчивости предприятия в рыночной среде [2].

В ранее опубликованной работе [3] автор отмечает, что конкурентная среда предприятия формируется через оптимизацию процессов анализа и прогностических показателей. Успешность функционирования и развития организации зависит, в первую очередь, от компетентности менеджеров среднего и высшего управленческого уровня, основой которой являются умения в области стратегических прогнозов [4].

Прогнозирование на предприятии заключается в установлении целей его деятельности на конкретный период, путей реализации и ресурсного обеспечения [5]. Ввиду быстрого развития рыночной экономики проблемы предпринимательской деятельности требуют комплексного подхода. При решении проблем, в которых наблюдается неопределенность (отсутствие полной информации о проблеме), успешно применяются методы трендов [6]. Применение Линии тренда в *MS Excel* предоставляет пять видов аппроксимирующих функций: линейную; логарифмическую; полиномиальную (пять типов); степенную; экспоненциальную.

Степень близости подбираемой функции оценивается коэффициентом корреляции R^2 . При отсутствии других теоретических соображений выбирают функцию с коэффициентом R^2 , стремящимся к единице. При этом следует отметить, что подбор формул с использованием Линии тренда позволяет как установить вид эмпирической формулы, так и определить численные значения неизвестных параметров. Используя Линию тренда, были построены девять графиков по пяти видам аппроксимирующих функций (рис. 1–5). Для анализа перевезенного груза на морском транспорте были использованы данные 2005–2011 гг., приведенные в табл. 1 [7].

Таблица 1

**Статистические данные перевезенного груза
морским транспортом РФ, млн т**

№ п/п.	Год	Млн. т
1	2005	26
2	2006	25
3	2007	28
4	2008	35
5	2009	37
6	2010	37
7	2011	34

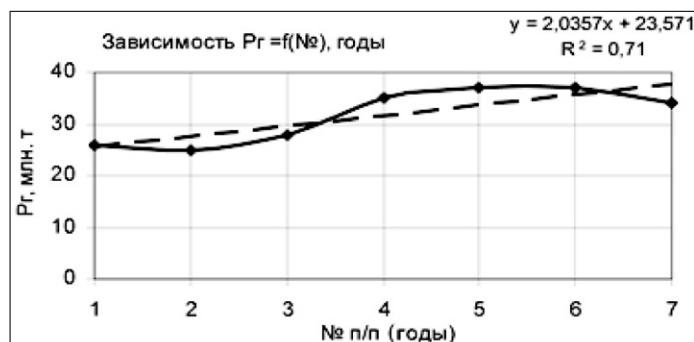


Рис. 1. Линейная зависимость перевезенного груза

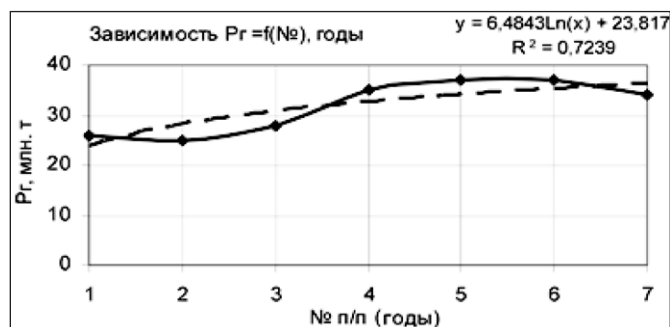
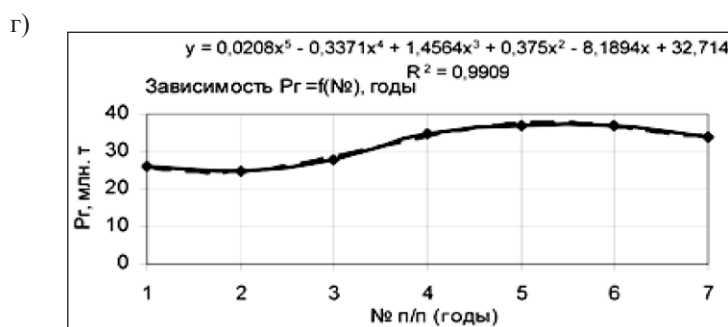
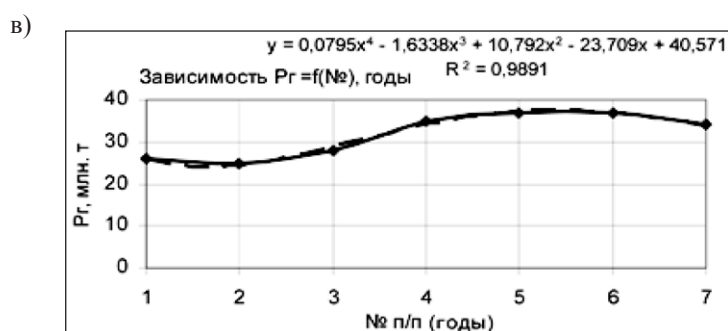
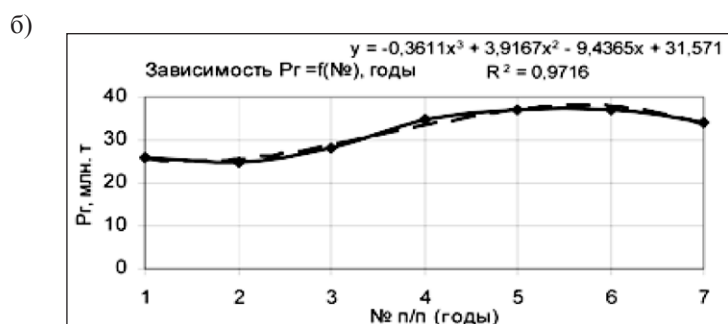
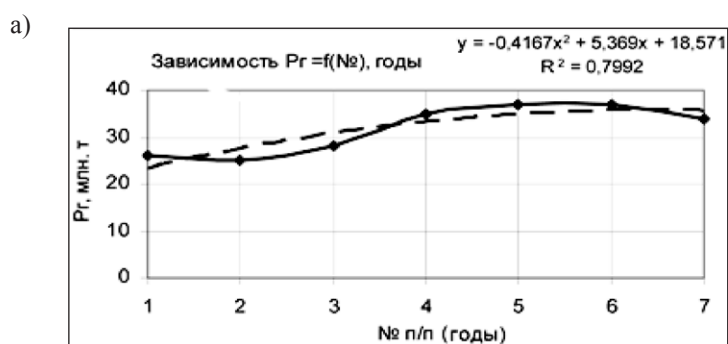


Рис. 2. Логарифмическая зависимость перевезенного груза



д)

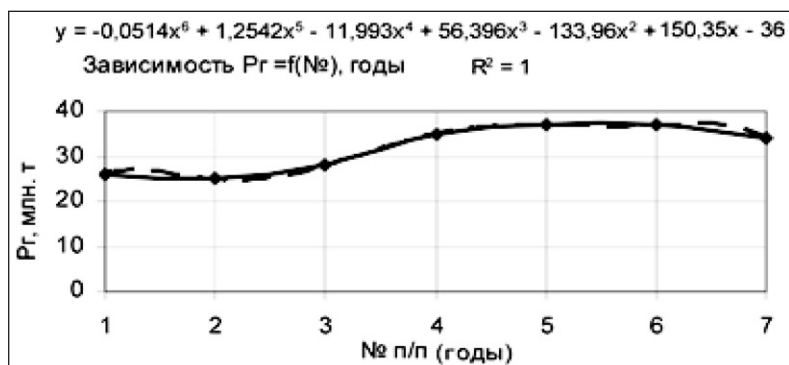


Рис. 3. Полиномиальная зависимость перевезенного груза:
а – при $n = 2$; б – при $n = 3$; в – при $n = 4$; г – при $n = 5$; д – при $n = 6$

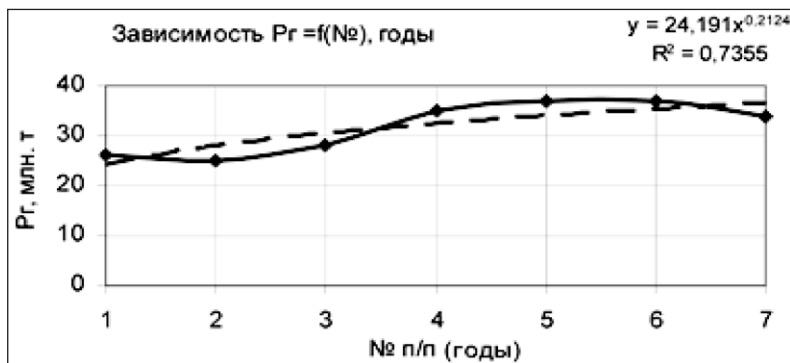


Рис. 4. Степенная зависимость перевезенного груза

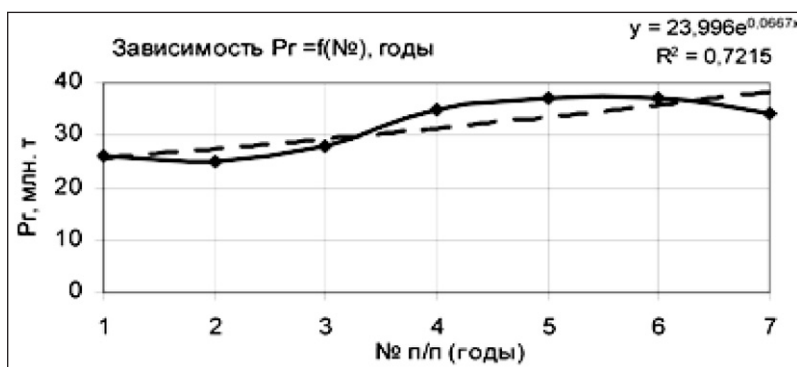


Рис. 5. Экспоненциальная зависимость перевезенного груза

Таким образом, из табл. 1 и рис. 1–5 видно, что на перевозимый морским транспортом груз мировой кризис, который начался в 2008 г., не повлиял. Так, в 2009 г. по сравнению с 2008 г. количество перевезенного морским путем груза даже увеличилось на 5,7 %, в 2010 г. оно осталось на уровне 2009 г. и только в 2011 г. уменьшилось на 8,1 % по сравнению с 2010 г.

Значения коэффициентов корреляции R^2 лежат в следующих пределах: $0,71 \leq R^2 \leq 1,0$, что позволяет сделать вывод о возможности произвести прогноз перевозимого морским путем груза с достаточной степенью точности. Полученные коэффициенты корреляции R^2 сведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов корреляции R^2

№ п/п.	Функция	R^2
1	Линейная	0,71
2	Логарифмическая	0,7239
3	Полиномиальная, $n = 2$	0,9992
4	Полиномиальная, $n = 3$	0,9716
5	Полиномиальная, $n = 4$	0,9891
6	Полиномиальная, $n = 5$	0,9909
7	Полиномиальная, $n = 6$	1,0
8	Степенная	0,7355
9	Экспоненциальная	0,7215

Проведенные расчеты показали, что для прогноза в данном случае лучше воспользоваться двумя функциями: логарифмической и степенной. Исходя из этого был выполнен прогноз предполагаемого груза, который будет перевезен морским транспортом до 2030 г. с применением логарифмической и степенной зависимости (табл. 3). Как видно из прогноза, количество перевозимого груза увеличивается, несмотря на то, что в 2011 г. построенные кривые имели тенденцию в сторону уменьшения.

Таблица 3

Прогноз предполагаемого груза для перевозки морским транспортом

№ п/п.	Год	Логарифмическая зависимость, млн.т	Степенная зависимость, млн.т
1	2012	37,3	37,6
2	2013	38,1	38,6
3	2014	38,7	39,5
4	2015	39,4	40,3
5	2016	39,9	41,0
6	2017	40,4	41,7
7	2018	40,9	42,4
8	2019	41,4	43,0
9	2020	41,8	43,6
10	2021	42,2	44,2
11	2022	42,6	44,7
12	2023	42,9	45,2
13	2024	43,2	45,7
14	2025	43,6	46,2
15	2026	43,9	46,6
16	2027	44,1	47,1
17	2028	44,4	47,5
18	2029	44,7	47,9
19	2030	44,9	48,3

На основе табл. 3 был построен рис. 6, показывающий границы, в которых может варьировать прогнозируемый груз, перевозимый морским путем в России. Если в дальнейшем окажется, что движение груза происходит по логарифмической функции, то это означает, что существующие порты через некоторое время не смогут технически переработать все поступающие грузы [8], соответственно, надо будет решить следующие задачи:

- произвести модернизацию портов, установив более производительное оборудование;
- применить новые высокопроизводительные схемы обработки грузов;
- расширить причалы;
- построить новые порты.

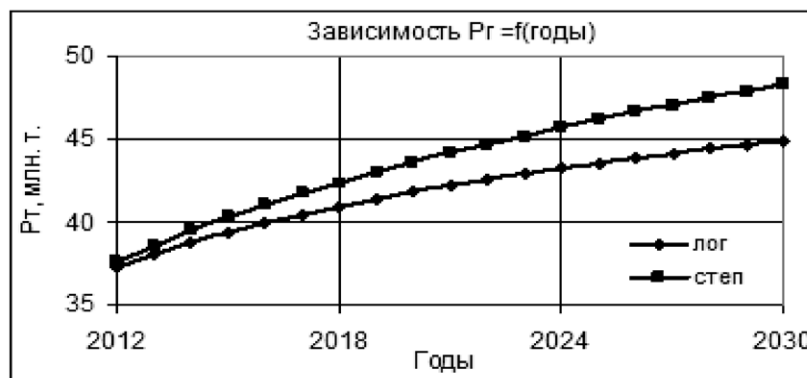


Рис. 6. Границы прогнозируемого груза, перевозимого морским путем

Реализация экономических интересов позволяет достичь их носителями конкретных экономических результатов и главным механизмом при этом выступает прогноз будущих результатов [8]. Следовательно, такие факторы, как анализ и прогноз экономической деятельности, существенно изменяют эффективность деятельности предприятия и выводят его работу на новый экономический уровень [3].

Список литературы

1. Пушкарева Л. В. Развитие социокультурной и экономической деятельности в России: региональный аспект / Л. В. Пушкарева. – СПб.: ГПА, 2014. – 208 с.
2. Пушкарева Л. В. Развитие социокультурной и экономической деятельности в России: региональный аспект / Л. В. Пушкарева. – СПб.: ГПА, 2013. – 276 с.
3. Пушкарева Л. В. К вопросу об основных этапах развития стратегического маркетинга / Л. В. Пушкарева // Вестник ИНЖЭКОНА. – 2006. – Вып. 2(11). – С. 74–76.
4. Пушкарева Л. В. Организация фирмы: учеб. пособие / Л. В. Пушкарева. – СПб.: СПбГИЭУ, 2011. – 174 с.
5. Пушкарева Л. В. Теоретические основы формирования стратегического маркетинга на предприятии: монография / Л. В. Пушкарева. – СПб., 2007. – 151 с.
6. Пушкарева Л. В. Системный анализ: учеб. пособие / Л. В. Пушкарева. – СПб.: СПбГИЭУ, 2011. – 150 с.
7. Российский статистический ежегодник. – М.: ИИЦ «Статистика России», 2012. – 786 с.
8. Пушкарева Л. В. К вопросу о социально ориентированном хозяйствовании / Л. В. Пушкарева // Вестник ГПА. – 2013. – С. 26–28.

УДК 629.5.0816338.32

А. В. Малько,
аспирант,
Институт проблем рынка
и экономико-экологических
исследований НАН Украины

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕКТОРА СУДОСТРОЕНИЯ И СУДОРЕМОНТА ТУРЦИИ КАК ЧАСТИ МОРСКОГО ТРАНСПОРТНОГО БИЗНЕС КЛАСТЕРА ЧЕРНОГО И МРАМОРНОГО МОРЯ

SHIP REPAIR AND SHIPBUILDING SECTOR OF TURKEY AS A PART OF THE BLACK SEA AND THE MARMARA SEA MARITIME TRANSPORT BUSINESS CLUSTER

Статья посвящена изучению промышленного сектора судоремонта и судостроения Турции в контексте морского транспорта делового района Черного и Мраморного морей. Представлены основные характеристики сектора, крупнейшие турецкие участники для основных регионов их деятельности. Кратко рассмотрены основные международные судоремонтные и судостроительные географические центры в регионе Черного и Мраморного морей. Публикация предназначена для специалистов, рассматривающих пути перехода собственного морского бизнеса на более высокий уровень развития и планирующих новые стратегии для своих предприятий. Представлены основные аспекты новых правил Европейского союза, Украины, США и некоторых других странах в отношении украинского кризиса, которые влияют на ведение морского бизнеса не только в рассматриваемом секторе, но и во всем мире. Представленная информация будет полезной для топ-менеджмента профильных компаний, научных, исследовательских и образовательных организаций. Приведены некоторые статистические данные для использования в маркетинговых подразделениях соответствующих верфей и транспортных организаций. Представлена новая информация для морских колледжей и университетов, преподавателей экономики морского транспорта, а также для научных транспортных, судоремонтных и судостроительных предприятий.

The purpose of this article is to study the ship repair and shipbuilding sector of Turkey in the context of the Black Sea and Marmara maritime transport business cluster. This article shows the main characters of the sector, the biggest Turkish players and the main Turkish regions of the activities. It also briefly describes the main international ship repair and shipbuilding geographical centers in the Black Sea and Marmara region. This paper information will help appropriate professionals to navigate their maritime business to the higher income and to plan the strategy of their enterprises. In addition, the top managers of the interested companies, research and scientific organizations shall take into the account the new regulations of the European Union, Ukraine, the United States and some other countries regarding Ukrainian crisis, which influences on the maritime business not only in the region, but also in the whole world. There are some article statistical figures to think about and to use by the marketing departments of the relevant shipyards and transport governmental organizations. The article will be useful for the maritime colleges and universities lecturers in economics of the maritime transport as well as for the scientific transport, ship repair and shipbuilding research institutes.

Ключевые слова: судоремонт, судостроение, морские перевозки, Черное море, Мраморное море, морской бизнес, верфи.

Key words: Ship repair, shipbuilding, maritime transport, Black Sea and Marmara Sea shipbuilding and ship repair, Tuzla and Yalova ship repair, maritime business, shipyards.

Introduction

The Black Sea and Marmara maritime transport business cluster mainly consists of the regional ports within their port fleets, shipping companies, operating sea transport lines in the region and the ship repair and shipbuilding companies which service them.

The main ship repair and shipbuilding clusters within the main floating and dry docks are situated in the following countries:

- 1) Turkey;
- 2) Ukraine;
- 3) Bulgaria;
- 4) Romania;
- 5) and Russia.

The biggest Ukrainian shipyards are situated in the following cities: Nikolayev, Odessa, Kherson, Izmail and Mariupol.

The biggest Russian Black Sea shipyard is situated in Novorossiysk.

After the referendum in the Republic of Crimea and the city of Sevastopol in March 2014 the Russian Federation got former Ukrainian shipyards in Kerch, Theodosia and Sevastopol [12].

Bulgarian ship repair services are principally available in the ports of Varna and Rousse [1] – [3].

The main Romanian shipyards are located in Mangalia, Constanta and Galati [3] – [6].

Turks in the areas of Tuzla and Yalova, covering dozens of the ship repair, shipbuilding, service, agent, and manufacturing companies, have made the biggest ship repair and shipbuilding regional cluster. The main advantage of this cluster is its geographical position, very close to Bosphorus. So, all vessels, going to Romania, Bulgaria, Georgia, Russia, Ukraine and etc. have to pass by the enterprises, located in Yalova and Tuzla.

Turkish ship repair and shipbuilding cluster in Yalova and Tuzla (Istanbul) is the biggest player at the regional market

There are more than 70 shipyards in Turkey and 44 of them are located in a rather small square in Yalova and Tuzla (Istanbul) which are very close to Bosphorus shipping lines [7]. There are few companies, situated in Izmit, which is on the half way to the both parts of the cluster, i.e. Tuzla and Yalova. Beside the shipyards, the local shipbuilding and ship repair cluster includes dozens of satellite companies, dealing with accompanying services and goods.

Yalova companies and Istanbul-Tuzla companies were summarized by me in one cluster in this article because they are rather close to each other, and you may get each of them in 2,5 hours by bus. Of course, Tuzla's part is the biggest one.

The epicenter of shipbuilding activities in Turkey is Tuzla Bay, situated some 50 km east of Istanbul. The largest yards are located in the Tuzla area, with the largest yard having annual maximum construction capacity of 650 000 dwt. (SAHINÇELIK SAN. A.S.).

Because Tuzla area could no longer offer suitable places to set up new yards, some entrepreneurs have focused on nearby inland locations, such as Yalova-Altinova and Izmit. In particular, some enterprises in these nearby facilities specialize in the manufacture of individual hull blocks that are then transported to other shipyards, where they are assembled.

Yalova project is located at a 1.35 million m² site in a former swampy area located on the seaward edge of the shore of Marmara Sea, in Yalova town, where there were plans to build not only shipyards, but social facilities and a sub-industrial zone. In 2011 investment in the projects had reached at least USD 365 million.

The area is considered to be well located, as it is on the crossroads of Istanbul, Bursa and Izmit, as well as close to a number of industrial areas. When completed, the Hersek bridge project will connect Gebze and Altinova, which will facilitate collaborate with industrial firms in Tuzla.

The Yalova-Altinova Shipyard Region, which will consist of 50 shipyards (38 of which belong to Yalova-Altinova Shipyard Enterprise Co.), is a national project that is funded by private equity capital, without the use of public sector funds [7].

If we start to comparison the number of profile companies in other countries of the Black Sea region, we may find that, in the average, the number of shipyards in the biggest ports is 3 shipyards with slipway or dock per one ship repair and shipbuilding regional port cluster.

In Yalova-Tuzla-Istanbul cluster we have more than 40 shipyards. It is 13 times more than in the other regional clusters in the Black Sea area.

The cluster's companies as well as Turkish shipyards are considered to be highly ranked in the world in the production of small tonnage chemical/oil tankers (up to 10 thousand dwt), and this is certainly supported by the order book held by Turkish yards, which in January 2011 showed 62 orders for this class of vessel, second only to the 74 orders held by yards in China [7].

Tuzla and Yalova witnessed a "golden era" between the years 2005 and 2008 [11], when the Turkish shipbuilding sector grew by 360 percent, while the world's average growth was 89 percent.

Furthermore, Turkey jumped from the global rank of 23rd to eighth in terms of shipbuilding capacity, but the sector's rapid growth caused some problems -- shipbuilders began making agreements with subcontractors, shifting the workload to get more orders, which resulted in decreased safety. Tuzla started to appear more in the media because of successive worker deaths rather than because of its "golden era." Between the years 1992 and 2010, 135 dockworkers were killed in occupational accidents, causing Tuzla to be thought of as a "death area." [8].

Ship repair and shipbuilding in Turkey

Turkey is a natural bridge between Europe, Central Asia and Middle East. Due to its geographical position it is the crossroads of three continents, located at the center of a transportation network extending to the Atlantic Ocean with Gibraltar Strait, to Arabian Peninsula and the Indian Ocean with the Sues Canal, to Eurasia and Far East with the Mediterranean-Black Sea links through Turkish Straits. That situation reflects the importance of the country in terms of cabotage, international and transit transport, and ship repair, and shipbuilding [9].

Due to the presence of the Turkish Straits, connecting the Mediterranean and the Black Sea, maritime traffic is intense in Turkey's internal waters and territorial sea, which help Turks to attract perspective customers for the ship repair and shipbuilding. The straits are considered a waterway of strategic and economic importance.

The principal ship repair and shipbuilding clusters of Turkey are located in the cities as shown in the Fig. 1 by big red points; the biggest yards are situated close to the straits.



Fig. 1. Locations of the principal shipyards in Turkey

Table 1 summarized quantity of the biggest shipyards in Turkey in 2011.

Table 1

Turkey Operating Shipyards May 2011 [7]

Province/Region	Number of Shipyards
Istanbul (Tuzla)	27
Yalova	19
Zonguldak	8
Izmit	6
Canakkale	2
Trabzon	2
Ordu	1
Samsun	1
Kastamonu	1
Sakarya	1
Hatay	1
Adana	1
Total	70

To find out the potential of the shipbuilding and ship repair sectors in Turkey we have to study them in comparison to other maritime and marine activities of the country.

Table 2 summarizes them accordingly.

Table 2

Indicators of relevant marine and maritime activities in Turkey [10]

Function/activity	GVA (EUR, billion)	Employment (*1000)	Number of enterprises	Further indicators	Source & Reference year
0. Other sectors					
0.1 Shipbuilding and ship repair	0,490	34,491	1,802	----	EUROSTAT (2009)
0.2 Water projects	0,290	15,530	304	----	EUROSTAT (2009)
1. Maritime transport					
1.1 Deep-sea shipping	0,168	8,919	----	----	EUROSTAT (2009)
1.2 Short-sea shipping (incl. Ro-Ro)	0,578	30,723	----	----	EUROSTAT (2009)
1.3 Passenger ferry services	0,377	11,210	----	----	EUROSTAT (2009)
1.4 Inland waterway transport	0	0	----	----	EUROSTAT (2009)
2. Food, nutrition, health and eco-system services					
2.1 Fishing for human consumption	0,593	37,750	----	----	TUIK (2011)
2.2 Fishing for animal feeding	----	Not separately available	----	----	----
2.3 Marine aquaculture	0,126	8,000	----	----	TUIK (2011)
2.4 Blue biotechnology	n.a.	n.a.	----	----	----
2.5 Agriculture on saline soils	-	-	----	----	----
3. Energy and raw materials					
3.1 Offshore oil and gas	0	0	0	----	Testing phase
3.2 Offshore wind	0	0	0	----	Not applicable
3.3 Ocean renewable energy	0	0	0	----	Not applicable
3.4 Carbon capture and storage	0	0	0	----	Not applicable
3.5 Aggregates mining (sand, gravel, etc.)	0	0	0	----	Not applicable
3.6 Marine minerals mining	0	0	0	----	Not applicable
3.7 Securing fresh water supply (desalination)	0	0	0	----	Not applicable
4. Leisure, working and living					
4.1 Coastal tourism	1,599	125,182	8,830	----	EUROSTAT (2009)
4.2 Yachting and marinas	n.a.	n.a.	----	----	----
4.3 Cruise tourism	0,089	2,647	----	----	EUROSTAT (2009)
5. Coastal protection					
5.1 Protection against flooding and erosion	n.a.	n.a.	----	----	Not applicable
5.2 Preventing salt water intrusion	n.a.	n.a.	----	----	Not applicable
5.3 Protection of habitats	n.a.	n.a.	----	----	----
6. Maritime monitoring and surveillance					
6.1 Traceability and security of goods supply chains	n.a.	n.a.	----	----	----
6.2 Prevent and protect against illegal movement of people and goods	0,08	5,00	----	----	----
6.3 Environmental monitoring	----	----	----	----	----

Note: EUROSTAT data on GVA and employment do not exist for all maritime activities. We have calculated the average GVA per job for the 7 activities for which we have Eurostat data for both GVA and employment: 15.700 EUR. Then we applied it to the other MEAs for which we could collect employment data from other international or national sources.

Example : Activity 2.1 "Fishing for human consumption"

Employment 37.750 (source : TÜİK – Turkish Statistical Institute)

GVA: $37,75 \times 15,7 = 593$ million EUR = 0,593 billion EUR

Conclusions

Ship repair and shipbuilding sector in Turkey is one of the biggest parts of the Black Sea and Marmara maritime transport business cluster.

The Turkish sector has a big potential for the development in the future as well.

Table 3 combines three lists, by ranking order, of the 7 largest, 7 fastest growing and 7 most future potential marine and maritime activities.

Shipbuilding and ship repair is the third largest maritime activity and is ranked 2nd in the list of the most future potential activities by the European Commission European Networking Group for Integrated Maritime Policy (EUNETMAR).

Even if it is not among the 7 fastest growing because of a very negative score linked to the strong impact of the world crisis on the sector, this activity has been included among the 6 most promising and relevant maritime activities [10].

Table 3

Sets of top-7 activities ranking in order of size/growth/future potential [10]

Top-7 current size	Top-7 recent growth	Top-7 future potential
Coastal tourism	Marine aquaculture	Marine aquaculture
Fishing for human consumption	Cruise tourism	Shipbuilding and ship repair
Shipbuilding and ship repair	Water projects	Coastal tourism
Short-sea shipping (incl. Ro-Ro)	Deep-sea shipping	Yachting and marinas
Water projects	Passenger ferry services	Cruise tourism
Passenger ferry services	Fishing for human consumption	Water projects
Deep-sea shipping	Short-sea shipping	Offshore oil and gas

The sector is of strategic importance for the Turkish government and considered as one of the most promising sectors in Turkey and as a pillar of the regional development [10].

The main reasons of the regional and global growth of the Turkish ship repair and shipbuilding sector are the excellent geographical position, young working population, outsourcing between the shipbuilding and ship repair clusters members and smooth government support of the sector companies.

Moreover, recent Regulations of the European Union, Ukraine, the United States and some other countries regarding Russia, Crimea and Sevastopol make Turkey more attractive for International Maritime Business in comparison with the competitors in Russia, including companies in Crimea and Sevastopol [13].

References

- [1] ODESSOS Shiprepair Yard. Contacts [Electronic resource] // Odessos ship repair yard S.A. official website. – Varna, Bulgaria – Mode of access: <http://www.odessos-yard.bg/contacts> – Title from Screen. – Date of access: 29 May 2014.
- [2] Rousse Shipyard. Contacts [Electronic resource] // Rousse Shipyard West JSC official website. – Rousse, Bulgaria – Mode of access: <http://rousseshipyardwest.bg/en/contacts.php> – Title from Screen. – Date of access: 30 May 2014.
- [3] Wikipedia. List of shipbuilders and shipyards [Electronic resource] // Wikipedia. The Free Encyclopedia official website. – International – Mode of access: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_shipbuilders_and_shipyards – Title from Screen. – Date of access: 30 May 2014.

[4] Daewoo-Mangalia Heavy Industries. Home page [Electronic resource] // Daewoo-Mangalia Heavy Industries, a joint venture between worldwide well known shipbuilding leader Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering in Korea and “2 Mai” Mangalia Shipyard in Romania official website. – Mangalia, Romania – Mode of access: <http://www.dmhi.ct.ro/index.html> – Title from Screen. – Date of access: 31 May 2014.

[5] Constanta Shipyard. Home page [Electronic resource] // Santierul Naval Constanta S.A. official website. – Constanta, Romania – Mode of access: <http://www.snc.ro/> – Title from Screen. – Date of access: 31 May 2014.

[6] Damen group. Damen Shipyards Galati. Contact [Electronic resource] // Damen Shipyards Galati official website. – Galati, Romania – Mode of access: <http://www.damen.ro/en/contact> – Title from Screen. – Date of access: 31 May 2014.

[7] OECD. The Shipbuilding Industry in Turkey // OECD Council Working Party on Shipbuilding (WP6), Report. – Paris, France, 2011

[8] Today's Zaman. Turkish shipyards on the verge of closure due to financial crisis. [Electronic resource] // Newspaper “Today's Zaman”, February 07, 2011. – Istanbul, Turkey – Mode of access: <http://www.todayszaman.com/news-234722-turkish-shipyards-on-the-verge-of-closure-due-to-financial-crisis.html> – Title from Screen. – Date of Access: 03 June 2014.

[9] Ministry of Transport, Maritime Affairs and Communications of Turkey. TURKEY HAS REORIENTED TOWARDS MARITIME SECTOR, FULLSPEED AHEAD!... [Electronic resource] // Ministry of Transport, Maritime Affairs and Communications of Turkey official website. – Ankara, Turkey – Mode of access: <http://www.ubak.gov.tr/> – Title from Screen. – Date of access: 03 June 2014.

[10] EUNETMAR. Studies to support the development of sea basin cooperation in the Mediterranean, Adriatic and Ionian, and Black Sea COUNTRY FICHE, TURKEY // European Commission, EUNETMAR, REPORT 1 - ANNEX 2.12, CONTRACT NUMBER MARE/2012/07 - REF. NO 2. – Rome, Italy, January 2014.

[11] GISBIR. Shipbuilding statistics. [Electronic resource] // Turkish shipbuilders' association GISBIR official website. – Tuzla/Istanbul, Turkey – Mode of access: <http://www.gisbir.org/en/> – Title from Screen. – Date of access: 04 June 2014.

[12] Alexey Malko. Analysis of prospects of ship repair and shipbuilding enterprises in the Republic of Crimea and the city of Sevastopol. // JOURNAL of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping. – 2014. – № 4(26). – P. 74–78.

[13] Alexey Malko. The main international documents, regulating the use of maritime sanctions against Crimea and Sevastopol and possible ways to overcome them. // International Maritime Business Forum SIMBF 2014, Report – Sevastopol, Russia, September 24, 2014.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.738, 004.724

А. С. Белоусов,
аспирант,
ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

ALGORITHMIC SUPPORT THE OPERATION OF MULTI-SERVICE NETWORKS OF THE TRANSPORT INDUSTRY

В статье рассматривается алгоритм распределения меток в сетях передачи данных с многопротокольной коммутацией по меткам MPLS (MultiProtocol Label Switching). Рассматриваемые сети передачи данных относятся к мультисервисным сетям, базирующимся на концепции сетей связи следующего поколения NGN (Next Generation Networks), которые используются для объектов информатизации транспортной отрасли, и имеют определенные специфические отраслевые требования к их организации. Описываемый алгоритм является одним из возможных способов, которые могут применяться для выполнения данной задачи. Процесс распределения меток для мультисервисных сетей транспортной отрасли является одним из основных в обеспечении работоспособности сети в целом. Правильное распределение меток приводит к стабильной работе и повышению качества обслуживания.

The article considers the algorithm of the label distribution in data transmission networks with the multiprotocol label switching (MPLS). Considered data transmission network relate to multiservice networks based on the concept of next generation networks (NGN), which are used for informatization objects transport industry, and have certain industry-specific requirements of their organization. Described algorithm is one of the possible methods that can be used to perform this task. Process of distribution of marks for multiservice networks of the transport industry is a fundamental functionality of the whole network. Proper distribution of labels lead to stable operation and quality of service.

Ключевые слова: мультисервисные сети транспортной отрасли, сети связи следующего поколения, единая транспортная система, протокол распределения меток, многопротокольная коммутация по меткам.

Key words: multi-service networks of transport industry, next generation networks, unified transport system, label distribution protocol, multiprotocol label switching.

ТРАНСПОРТНАЯ стратегия Российской Федерации на период до 2030 года предусматривает инновационный сценарий повышения конкурентоспособности транспортной системы за счет реализации транзитного потенциала страны. В соответствии с Рамочными стандартами безопасности и облегчения мировой торговли (ВТамО, 2005), требования по обеспечению безопасности теперь должны выполняться через безбумажный документооборот и предварительное информирование о перемещении товаров [1].

Взаимодействие информационных объектов транспортной отрасли с помощью сетей передачи данных и территориальная распределенность являются причиной для отдельного рассмотрения сетей передачи данных транспортной отрасли. В транспортной отрасли применяется большое количество различных видов каналов передачи информации, прикладных программных решений и специализированного аппаратного обеспечения, что является отличительной особенностью.

Требования к сетям передачи данных транспортной отрасли

При построении сетей для транспортной отрасли должны учитываться следующие факторы: сеть должна обеспечивать передачу информации с высокой пропускной способностью

и возможность передачи разнородного типа трафика, а также передавать информацию в режиме одноадресной и многоадресной пересылки [2]–[4]. Информационно-управляющие системы на транспорте относятся к автоматизированным системам критически важных объектов. Неотъемлемым требованием к таким системам и их каналам передачи данных является защищенность циркулирующей в них информации, как от преднамеренных, так и непреднамеренных угроз [5]–[7]. Всем этим требованиям отвечают мультисервисные сети, которые основываются на концепциях сетей связи следующего поколения NGN (Next Generation Networks). Главное требование — они должны обеспечивать неограниченный набор услуг с гибкой системой управления трафиком. Мультисервисные сети базируются на технологии многопротокольной коммутации по меткам MPLS (MultiProtocol Label Switching), которая обеспечивает быструю и надежную работу ядра сети [5], [6].

В рамках информатизации транспортной отрасли применение мультисервисных сетей позволит создать единое интегрированное информационно-коммуникационное пространство транспортной отрасли, которое будет основываться на мультисервисной сети транспортной отрасли.

Мультисервисная сеть транспортной отрасли

В основе идеи построения сетей согласно технологии многопротокольной коммутации по меткам MPLS лежит принцип обмена метками. Любой передаваемый пакет данных закрепляется за классом эквивалентной пересылки FEC (Forwarding Equivalence Class), каждый из которых определяется собственной меткой. Значение метки уникально только между двумя соседними узлами сети MPLS – маршрутизаторами LSR (Label Switch Router). Метка передается в составе любого пакета, проходящего через сеть MPLS [6].

Маршрутизатор LSR получает информацию о топологии сети, выполняя алгоритмы маршрутизации — OSPF, BGP, IS-IS. После этого маршрутизатор LSR начинает процесс распределения меток, с помощью которых будет производиться коммутация пакетов по метке. Распределение меток, в свою очередь, приводит к составлению возможных путей LSP (Label Switching Path), по которым могут передаваться пакеты для определенных классов FEC [8].

Каждый маршрутизатор LSR составляет собственную базу меток LIB (Label Information Base), которая ставит в соответствие каждой входной паре «интерфейс – метка» тройку «префикс получателя – выходной интерфейс – выходная метка». Префикс получателя используется только в процессе построения базы меток LIB и при коммутации пакетов не используется. Получая пакет, маршрутизатор LSR по значению метки и номеру интерфейса, на котором данный пакет был получен, определяет с помощью базы LIB выходной интерфейс, а также производит изменение старого значения метки на новое. После смены метки пакет отправляется дальше по пути LSP к следующему маршрутизатору LSR.

Вся процедура коммутации сводится лишь к сравнению метки с метками в таблице, которая происходит в режиме одноразовой идентификации значения поля. Это занимает в разы меньше времени, чем сравнение адреса получателя с адресными префиксами в таблице маршрутизации [9].

Алгоритм распределения меток коммутации мультисервисной сети транспортной отрасли

Обмен метками между маршрутизаторами LSR может производиться с помощью разных протоколов [9]–[11]. В спецификации существует специализированный протокол распределения меток LDP (Label Distribution Protocol) [11].

Протокол LDP выполняет построение целостных маршрутов коммутации по меткам LSP. Установление отношения соседства двух маршрутизаторов LSR происходит в два этапа:

1. Обмен сообщениями типа Hello.
2. Установление сессии LDP.

Второй этап выполняется только в случае успешного завершения первого.

Сообщения Hello посылаются каждым маршрутизатором LSR, на котором включен протокол LDP, с заданным интервалом на широковещательный адрес 224.0.0.2, порт 646, транспортный протокол UDP. Протокол LDP позволяет обмениваться сообщениями маршрутизаторам LSR, не соединенными непосредственно друг с другом. В этом случае сообщение Hello должно быть отправлено на адрес маршрутизатора LSR, с которым необходимо настроить связь.

Сообщение Hello содержит информацию о следующих параметрах:

— Holddown Timer — отрезок времени, в течение которого маршрутизаторы, с которыми устанавливается сессия LDP, должны ответить на данное сообщение хотя бы одним сообщением Hello. Если у двух маршрутизаторов LSR, устанавливающих связь, это значение различно, то выбирается наименьшее значение.

— T – bit (Target Hello Bit) — данный бит определяет, какое сообщение Hello было отправлено. Если значение равно 1, то сообщение отправляется на конкретный адрес получателя, если значение равно 0, то сообщение широковещательное для всех маршрутизаторов LSR.

— R – bit (Request Send Target Hello) — Значение, равное 1 данного бита, определяет обязательный ответ от получателя. Значение 0 не требует обязательного ответа. Значение, равное 1, принимается только когда значение T – bit равно 1.

— Transport Address — необязательное поле, в нем указывается адрес, на который необходимо отправить ответ для установления сессии LDP между устройствами. Если данное поле отсутствует, то ответ необходимо отправить на адрес отправителя сообщения Hello. Адрес, который используется для установления сессии LDP, называется «транспортным адресом».

— Configuration Sequence Number — номер конфигурации. При изменении настроек на маршрутизаторе LSR меняется значение данного поля, которое может вызвать перенастройку сессии LDP.

Маршрутизаторы LSR могут не отвечать на сообщения Hello и прерывать первый этап установления отношения соседства [9]. Причинами для таких действий могут быть следующие ситуации:

— Маршрутизатору LSR запрещено принимать сообщения Hello в конфигурации. Может быть произведена исключаяющая настройка для сообщений определенного типа или от определенного отправителя.

— Не совпадают типы транспортных адресов.

Сессии LDP работают на основании протокола TCP/IP по порту 646. При обмене сообщениями Hello маршрутизаторы LSR узнают транспортные адреса друг друга. На основании транспортного адреса принимается решение о том, кто будет «активным» или «пассивным» соседом. Маршрутизатор с большим транспортным адресом становится «активным». После того как маршрутизатор LSR узнал транспортный адрес своего соседа, он начинает устанавливать сессию LDP. Алгоритм проведения сессии LDP следующий:

1. «Активный» маршрутизатор посылает сообщение Init, в которое добавлены все параметры будущей сессии.

2. «Пассивный» маршрутизатор проверяет параметры сессии из полученного сообщения Init на соответствие локальным настройкам.

3. «Пассивный» маршрутизатор отвечает сообщением Init, в которое добавлены его параметры сессии.

4. «Активный» маршрутизатор проверяет параметры сессии из полученного сообщения Init на соответствие локальным настройкам.

5. Сессия LDP установлена.

Если на любом шаге алгоритма происходит ошибка или не совпадают параметры, то сессия остается не установленной. Маршрутизатор LSR, который обнаружил ошибку, передает сообщение Shutdown или Reject маршрутизатору LSR, с которым устанавливалась сессия LDP.

В состав сообщения Init входят следующие основные параметры:

— Protocol Version – версия протокола.

— KeepAlive Time – максимальное время между служебными сообщениями KeepAlive. При разном значении у двух соседних маршрутизаторов LSR выбирается минимальное.

— A — bit (Label Advertisement Discipline) — бит, указывающий на режим обмена информацией о метках. Если значение равно 0, то метки отправляются без запроса, если значение равно 1, то метки отправляются только после запроса.

— D — bit (Loop Detection) — бит, указывающий на включение режима предотвращения образования циклов.

— PVLim (Path Vector Limit) — переменная, используемая для работы режима предотвращения образования циклов.

— Max PDU Length — максимальная длина группированного сообщения PDU (Protocol Data Units). Сообщения протокола LDP группируются в пакеты PDU, затем они передаются в пакете TCP/IP. Даже одиночное сообщение протокола LDP группируется в сообщение PDU.

— Receiver LDP Identifier — идентификатор пространства меток LSI (Label Space Identifier)

В сообщении Init также содержится несколько дополнительных полей, описанных в стандарте. Сессия LDP будет считаться установленной, если у маршрутизаторов LSR совпадает версия протокола и значения поля A – bit совпадают. Если поля PVLim не совпадают, то на маршрутизаторе LSR будет вызвано предупреждение.

За каждой сессией LDP закрепляется таймер, который обнуляется после получения любого сообщения протокола LDP. Если сообщение не было получено в течение времени KeepAlive Time, то сосед считается отключенным. Если у маршрутизатора LSR нет текущих сообщений протокола LDP для отправки, он должен отправить служебное сообщение KeepAlive.

У каждой сессии LDP существует ряд параметров, которые определяют тип и режим работы. Параметры сессии LDP можно разделить на 3 группы:

- Режим обмена метками (Label Distribution Mode);
- Режим контроля распространения меток (Label Distribution Control);
- Режим сохранения меток (Label Retention Mode).

Режим обмена метками разрешает использовать два различных метода распространения меток в сети MPLS: с запросом (Downstream On Demand) и без запроса (Downstream Unsolicited). При выборе метода с запросом маршрутизатор LSR должен запрашивать метку для пути LSP определенного класса FEC у маршрутизатора LSR, который является следующим шагом (Next-Hop LSR, NH-LSR) в пути LSP. Таким образом, распространение меток для каждого пути LSP будет происходить со стороны получателя в сторону отправителя, то есть навстречу будущему потоку сообщений, передаваемых по данному пути LSP. При работе метода без запроса маршрутизатор LSR для каждого класса FEC создает метку самостоятельно и рассылает ее своим соседям, не дожидаясь метки от маршрутизатора NH-LSR.

Режим контроля распространения меток возможен в двух вариантах: независимого контроля (Independent Label Distribution Control) и упорядоченного контроля (Ordered Label Distribution Control). В случае использования независимого контроля над распространением меток каждый маршрутизатор LSR может рассылать метки своим соседям для тех классов FEC, для которых он сам не имеет выходной метки для маршрутизатора NH-LSR. При использовании упорядоченного контроля маршрутизатор LSR может рассылать метки для определенного класса FEC только после того, как он сам получит метку для этого класса FEC от маршрутизатора NH-LSR. В таком режиме рассылки первую метку для каждого класса FEC рассылает тот маршрутизатор LSR, который является непосредственно подключенным к данному классу FEC.

Режим сохранения меток также может быть выбран из двух возможных: сдержанный режим (Conservative Label Retention Mode) и свободный режим (Liberal Label Retention Mode). При использовании сдержанного режима сохранения меток при удалении или изменении пути LSP для класса FEC метки удаляются полностью, и для восстановления пути LSP потребуется проводить всю процедуру заново. При свободном режиме работы при удалении или изменении пути LSP метка

не удаляется, а только помечается как неактивная, и при восстановлении пути LSP не создается новая, а восстанавливается старая путем изменения состояния на «активная».

Во время работы протокола LDP маршрутизаторы LSR должны реагировать на следующие события, происходящие в сети MPLS: появление записи нового класса FEC в таблице маршрутизации, исчезновение записи класса FEC в таблице маршрутизации и изменение маршрутизатора следующего шага NH-LSR для записи класса FEC.

При исчезновении записи класса FEC в таблице маршрутизации или коммутации все маршрутизаторы LSR, через которые проходил путь LSP для данного FEC, должны отозвать назначенные метки у соседних маршрутизаторов, разослав сообщения Label Withdraw.

Заключение

Транспортная отрасль имеет отличительные особенности: динамическое изменение положения объектов информатизации, наличие различных видов используемых сервисов и предоставляемых услуг. Все эти особенности должны быть учтены при рассмотрении объектов информатизации.

Своевременное реагирование на изменение топологии сети и изменение путей LSP должно быть сразу обработано алгоритмом распределения меток.

В данной статье были рассмотрены основные аспекты функционирования мультисервисной сети транспортной отрасли:

Идея построения единого интегрированного информационно-коммуникационного пространства транспортной отрасли, в основе которого лежит мультисервисная сеть транспортной отрасли позволит соответствовать современным требованиям и стратегии развития транспортной отрасли.

Динамическое изменение структуры должно быть своевременно обработано алгоритмом распределения меток.

Механизм распределения меток в сетях MPLS является основой для функционирования. Быстрая, скоординированная работа данного алгоритма позволит обеспечить высокое качество обслуживания.

Список литературы

1. Соколов С. С. Основные аспекты автоматизации деятельности транспортных объектов / С. С. Соколов // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 5. — С. 83; URL: <http://www.science-education.ru/111-10277> (дата обращения: 15.10.2014).

2. Белоусов А. С. Организация сетевой инфраструктуры территориально распределенной информационной системы транспортной отрасли / А. С. Белоусов, А. В. Черняков, А. П. Нырков // Материалы работы научно-исследовательской конференции студентов и аспирантов факультета информационных технологий. «ИТ: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА — 2014». — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2014. — С. 64–69.

3. Нырков А. П. Перспектива применения методов виртуального сегментирования сетевой инфраструктуры информационных транспортных систем / А. П. Нырков, А. С. Белоусов, К. С. Воеводский // Материалы международной научно-практической конференции «Информационные управляющие системы и технологии» (ИУСТ–Одесса–2013). — Одесса, 2013. — С. 151–153.

4. Нырков А. П. Мультисервисная сеть транспортной отрасли / А. П. Нырков, С. С. Соколов, А. С. Белоусов // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2014. — № 4 (118). — С. 33–38.

5. Нырков А. П. Помехозащищенность как фактор обеспечения стабильной работы сети передачи данных на транспорте / А. П. Нырков, С. С. Соколов, А. С. Белоусов // Сборник научных трудов Sworld. — 2013. — Т. 8. — № 1. — С. 5–9.

6. Ныркoв А. П. Обеспечение безопасного функционирования мультисервисной сети транспортной отрасли / А. П. Ныркoв, С. С. Соколов, А. С. Белоусов, Н. М. Ковальногова, В. А. Мальцев // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. — 2014. — № 2 (32). — С. 143–149.

7. 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.

8. Самуйлов Е. К. Методы анализа и расчета мультисервисных сетей связи / Е. К. Самуйлов // Материалы Всероссийской Школы для молодежи «Физико-технические проблемы информационной безопасности телекоммуникационных систем». — М.: Горячая линия — Телеком, 2009. — 256 с.

9. Наумов В. А. Теория телетрафика мультисервисных сетей / В. А. Наумов, К. Е. Самуйлов, Н. В. Яркина. — М.: РУДН, 2007. — 191 с.

10. Ныркoв А. П. Протоколы маршрутизации в мультисервисных сетях транспортной отрасли / А. П. Ныркoв, А. С. Белоусов, А. В. Черняков // Материалы международной научно-практической конференции «Информационные управляющие системы и технологии» (ИУСТ–Одесса–2014). — Одесса, 2014. — С. 238–240.

11. Andersson L., Doolan P., Feldman N., Fredette A., Thomas B.- RFC 3036. LDP Specification — Cisco Systems, Inc., 2001.

УДК 51-74

В. А. Мальцев,
аспирант,

ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ К РАСЧЕТУ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПАЛУБНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ КОНТЕЙНЕРОВОЗА

THE USE OF FINITE ELEMENT METHOD TO CALCULATE THE STRESS-STRAIN STATE OF CONTAINERSHIP DECK GRILLAGE

В статье рассматривается задача расчета напряженно-деформированного состояния палубных перекрытий (крышек люков трюмов), использующихся для погрузки контейнеров. Крышки люка представляют собой однородные пластины с заранее известными параметрами. Расчет производится методом конечных элементов, при этом разбиение на конечные элементы происходит согласно триангуляции Делоне. Дальнейшее определение напряженно-деформированного состояния производится методом Рунца, находится матрица жесткости, связывающая нагрузки и перемещения, с помощью которой вычисляются прогибы в любой точке пластины.

The article states the problem of calculating the stress-strain state of deck grillage (manhole covers holds) used for loading containers. Hatch covers are homogeneous plate with known in advance parameters. The calculation is performed using finite element method, with the division into finite elements takes place according to the Delaunay triangulation. Further definition of the stress-strain state is produced by the Ritz method, the stiffness matrix linking load and displacement, which are calculated using the deflection at any point on the plate.

Ключевые слова: палубные перекрытия, метод конечных элементов, триангуляция Делоне, метод Рунца, матрица жесткости.

Key words: deck grillage, finite element method, Delaunay triangulation, Ritz method, stiffness matrix.

Введение

По данным на 2013-й год до 60 % от общего числа всех морских перевозок — контейнерные, а если рассматривать только генеральные грузы, т.е. грузы штучные, перевозимые в упаковке, то доля их перевозок в контейнерах составляет более 90 %. [1] Таким образом, контейнерные грузоперевозки являются достаточно распространенным видом транспортировки груза. Объясняется это большим списком преимуществ: универсальность тары, разнообразие типов контейнеров, экономичность, которая появляется в результате снижения затрат на погрузочно-разгрузочные работы, отсутствие необходимости работать с грузом напрямую и т.д.

Как правило, контейнерное судно не используется для транспортировки груза от порта к порту. Маршрут может включать большое количество пунктов, в каждом из которых будет загружено или разгружено некоторое количество контейнеров.

Расчет первичной загрузки судна чаще всего осуществляется на суше, т.е. в порту. До прибытия в пункт назначения на судно поступает информация о контейнерах, подлежащих погрузке во втором порту. Эта информация в зависимости от оснащения порта может быть представлена как в виде примерной схемы размещения груза, так и просто в виде перечня контейнеров, подлежащих погрузке. В любом случае на судне происходит проверка актуальности схемы погрузки (шорт-плана), составленной в порту, либо расчет и составление новой схемы в зависимости от текущей загрузки контейнеровоза и того перечня контейнеров и их параметров, предоставленных портом. Очевидно, что для любой из этих схем необходимы определенные алгоритмы и модели загрузки, учитывающие грузоподъемность судна, его остойчивость, распределение уже имеющихся грузов, а так же учет прочностных характеристик нагружаемых поверхностей (напряженно-деформированное состояние судовых пластин).

Вывод системы дифференциальных уравнений Кармана

При исследовании напряженного состояния пластин воспользуемся декартовой системой координат, совмещающая плоскость XOY со срединной плоскостью пластины.

Теория изгиба тонких пластин основана на гипотезах Кирхгофа.

Зависимости между перемещениями и деформациями пластины могут быть получены на основе первых двух допущений. Рассмотрим два взаимно перпендикулярных бесконечно малых элемента $AB = dx$ и $AC = dy$, лежащих до деформации в плоскости, параллельной срединной плоскости пластины (рис. 1). В результате деформации точки $A(x, y, z)$, $B(x + dx, y, z)$, $C(x, y + dy, z)$ получают перемещения в направлении осей координат и займут новое положение:

$$\begin{aligned} A_1 \left(x + u, y + v, z + w \right), B \left(x + dx + u + \frac{\partial u}{\partial x} dx, y + v + \frac{\partial v}{\partial x} dx, z + w + \frac{\partial w}{\partial x} dx \right), \\ C \left(x + u + \frac{\partial u}{\partial y} dy, y + dy + v + \frac{\partial v}{\partial y} dy, z + w + \frac{\partial w}{\partial y} dy \right), \end{aligned} \quad (1)$$

где u, v, w — перемещения точки $A(x, y, z)$ в направлении осей x, y, z .

Относительные линейные деформации $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ бесконечно малых элементов dx, dy и угол сдвига γ_{xy} найдем из соотношений:

$$\varepsilon_x = \frac{(A_1 B_1 - dx)}{dx}; \quad \varepsilon_y = \frac{(A_1 C_1 - dy)}{dy}; \quad \sin \gamma_{xy} = \cos \left[\frac{\pi}{2} - \gamma_{xy} \right] = \frac{(\overline{A_1 B_1} \cdot \overline{A_1 C_1})}{A_1 B_1 \cdot A_1 C_1}, \quad (2)$$

где в круглых скобках числителя последней дроби стоит скалярное произведение векторов $\overline{A_1 B_1}$ и $\overline{A_1 C_1}$.

Вычитая из координат точек B_1, C_1 одноименные координаты точки A_1 , находим проекции на оси векторов $\overline{A_1 B_1}, \overline{A_1 C_1}$, их длины $A_1 B_1, A_1 C_1$ и скалярное произведение x, y, z . Так как прогиб пластины w на порядок больше перемещений u, v и все перемещения считаются малыми, можно пренебречь нелинейными слагаемыми относительно u и v , и заменить радикалы двумя членами бинома Ньютона.

Подставляя эти выражения в формулы для деформаций $\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}$ получаем

$$\begin{cases} \epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2; \\ \epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2; \\ \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \cdot \frac{\partial w}{\partial y}. \end{cases} \quad (3)$$

Для точек пластины, лежащих в слое $z = \text{const}$, зависимости между перемещениями и деформацией устанавливаются на основании гипотезы прямых нормалей. Рассмотрим с этой целью в сечении $y = \text{const}$ точку A на расстоянии z от срединной плоскости до и после деформации (рис. 1).

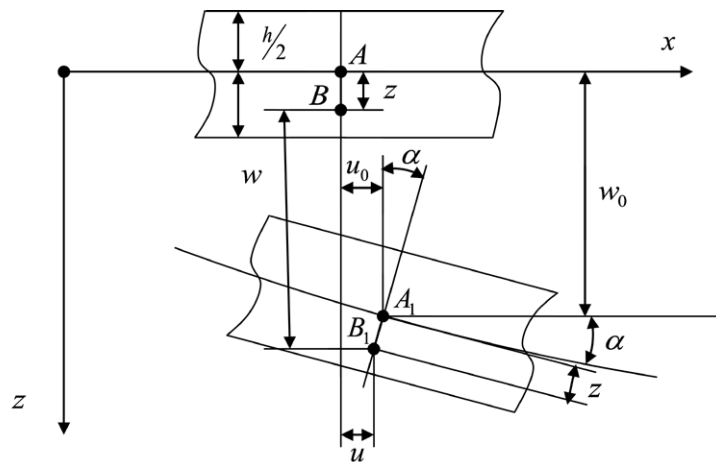


Рис. 1. Сечение пластины до и после деформации

Перпендикуляр AB к срединной плоскости займет после деформации положение A_1B_1 и останется прямым и перпендикулярным срединной поверхности пластины. При этом он окажется повернутым относительно первоначального положения на угол α , который по малости прогибов будем считать равным производной от прогиба $\frac{\partial w}{\partial x}$. Учитывая сказанное, нетрудно установить зависимость между перемещением u произвольной точки A и перемещением u_0 точки B срединной плоскости:

$$\begin{cases} u = u_0 - z \frac{\partial w}{\partial x}; \\ v = v_0 - z \frac{\partial w}{\partial y}. \end{cases} \quad (4)$$

Второе соотношение записано для сечения $x = \text{const}$ по аналогии с первым. Подставим выражения (4) в зависимости (3):

$$\begin{cases} \epsilon_x = \epsilon_{0x} - z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; & \epsilon_y = \epsilon_{0y} - z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}; \\ \gamma_{xy} = \gamma_{0xy} - 2z \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}. \end{cases} \quad (5)$$

где $\epsilon_{0x}, \epsilon_{0y}, \gamma_{0xy}$ — деформации срединной плоскости пластины при $z = 0$, которые зависят от x, y , поэтому определяют в выражениях (5) постоянные по толщине пластины, составляющие полных деформаций.

Деформации срединной поверхности связаны уравнением совместности

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} = \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}. \quad (6)$$

Полученные зависимости будут справедливы, когда деформации малы и когда прогибы пластины таковы, что при выводе формул (4) и (5) можно заменить значения синусов и тангенсов углов значениями углов в радианах.

Рассмотрим сечения перпендикулярные осям Ox и Oy . Напряженное состояние пластины можно охарактеризовать усилиями (рис. 2), приходящимися на единицу длины соответствующего сечения. Все эти силы суть интенсивности соответствующих сил, приложенных к линии срединной поверхности после приведения к ней напряжений [2].

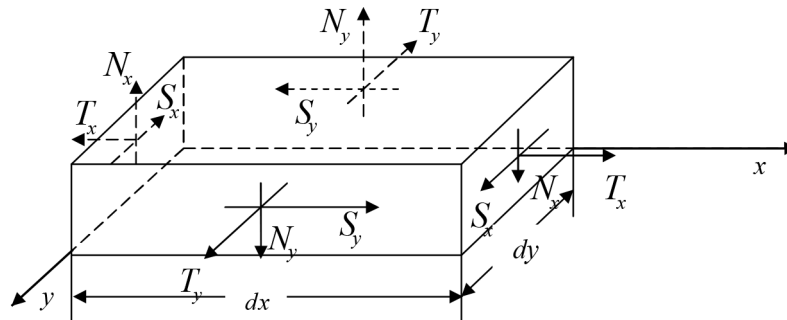


Рис. 2. Положительные направления сил в соответствии с правилом знаков напряжений

На рис. 2 T_x, T_y — нормальные усилия, выражающиеся зависимостями

$$T_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x dz; \quad T_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y dz. \quad (7)$$

$S = S_x = S_y = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy} dz$ — касательные усилия, определяющиеся в сечениях $x = \text{const}, y = \text{const}$ одинаковыми формулами в силу закона парности касательных напряжений S_x, N_x, N_y — перерезывающие силы:

$$N_x = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xz} dz; \quad N_y = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{yz} dz. \quad (8)$$

В сечениях $x = \text{const}$ и $y = \text{const}$ действующие напряжения в пределах единицы длины создают следующие моменты (рис. 3).

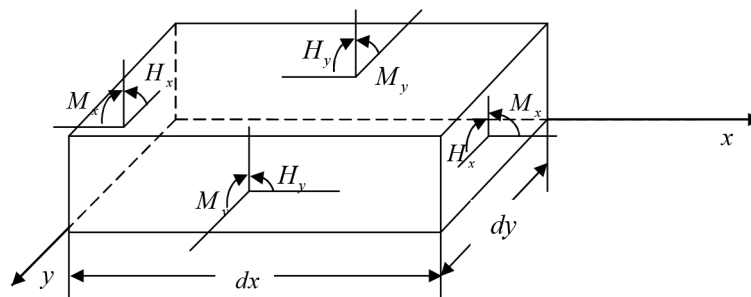


Рис. 3. Положительные направления моментов

Здесь M_x, M_y — изгибающие моменты, действующие в сечениях $x = \text{const}$ и $y = \text{const}$, соответственно, определяющиеся соотношениями:

$$M_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x \cdot z dz; \quad M_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y \cdot z dz. \quad (9)$$

$$H = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy} \cdot z dz. \quad (10)$$

$H = H_x = H_y$ — крутящие моменты, определяющиеся в сечениях $x = \text{const}$, $y = \text{const}$ формулой (8) в силу закона парности касательных напряжений S_x .

Используя равенство нулю главного вектора и главного момента, получаем скалярные уравнения равновесия:

$$\begin{cases} \frac{\partial T_x}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial w}{\partial x} \right) + q \frac{\partial w}{\partial x} \\ \frac{\partial S}{\partial x} + \frac{\partial T_y}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial w}{\partial y} \right) + q \frac{\partial w}{\partial y} \\ \frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(S \frac{\partial w}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(S \frac{\partial w}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial w}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial w}{\partial y} \right) - q \end{cases} \quad (11)$$

$$N_x = \frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial y}; \quad N_y = \frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial H}{\partial x}. \quad (12)$$

После дифференцирования произведений в системе (11) эти уравнения превращаются в систему линейных уравнений относительно производных:

$$\begin{cases} \frac{\partial T_x}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial y} = N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial S}{\partial x} + \frac{\partial T_y}{\partial y} = N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ \frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} = -q - T_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - T_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2S \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{cases} \quad (13)$$

Используем функцию Эри, позволяющую определить напряжения по формулам:

$$\sigma_x = \frac{T_x}{h} = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2}; \quad \sigma_y = \frac{T_y}{h} = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2}; \quad \tau_{xy} = \frac{S}{h} = -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y}. \quad (14)$$

Данная система уравнений становится эквивалентна одному уравнению

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 H}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} = -q - h \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right). \quad (15)$$

Таким образом, поведение пластины описывается двумя разрешающими уравнениями: равновесия (15) и совместности деформаций (6). В уравнении равновесия левая часть может быть выражена только через прогиб w , в уравнении совместности деформации — только через функцию Эри.

Используя закон Гука для изотропного материала, уравнение совместности деформации (6) можно представить в следующем виде:

$$\Delta \Delta \Phi = E \left[\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right]. \quad (16)$$

Внося в уравнение равновесия (15) выражение для изгибающих и крутящих моментов, можно получить дифференциальное уравнение вида:

$$D \Delta \Delta w = q + h \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right). \quad (17)$$

Два уравнения (16) и (17) дают разрешающую систему дифференциальных уравнений теории пластин Кармана:

$$\begin{cases} \Delta\Delta\Phi = E \left[\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] \\ D\Delta\Delta w = q + h \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) \end{cases} \quad (18)$$

Таким образом, нелинейная система дифференциальных уравнений Кармана (18), описывающая изгиб пластины при заданных граничных условиях, не может быть решена в общем виде. Даже приближенные методы ее решения недостаточно разработаны, поэтому имеющиеся частные решения полной системы уравнений (18) немногочисленны [4]. Однако в ряде случаев напряженное состояние пластин таково, что в уравнениях Кармана могут быть сделаны упрощения, после чего их интегрирование существенно облегчается. Из-за малости прогиба пластин конечной жесткости, к категории которых относятся судовые пластины верхних палуб, можно пренебречь нелинейными относительно w членами в правой части первого уравнения (18). Уравнения Кармана принимают для этих пластин вид

$$\begin{cases} \Delta\Delta\Phi = 0 \\ D\Delta\Delta w = p(x, y) + h \cdot \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \end{cases} \quad (19)$$

Как видно из уравнения (19), функция $\Phi(x, y)$ определяется из первого уравнения при своих граничных условиях независимо от прогиба w . После определения функции Эри можно найти w из второго уравнения (19), которое хотя и линейно относительно w , но имеет переменные коэффициенты. Поэтому интегрирование данного уравнения связано с определенными трудностями. Эти уравнения еще мало используются для практических расчетов, и решения их, доведенные до числовых справочных данных, немногочисленны [5].

Метод конечных элементов как один из способов решения системы дифференциальных уравнений Кармана

Одним из основных методов решения таких систем (19) на сегодняшний день является метод конечных элементов (МКЭ). Он успешно развивается не только благодаря относительной простоте, но и в связи с достаточно активным ростом компьютерных мощностей и техническому прогрессу в целом. Само название метода говорит о том, что в основе исследования лежит некая математическая модель, состоящая из определенного количества конечных элементов, взаимосвязанных между собой. Условно определение этой математической модели и есть первый этап МКЭ. Его значимость заключается в том, что точность полученных результатов будет напрямую зависеть от того, насколько точно мы определим модель и учтем все имеющиеся ограничения. Построение такой модели, т.е. разбиение геометрического объекта на симплексы, называется триангуляцией. Утверждают, что триангуляция удовлетворяет условию Делоне, если внутри окружности, описанной вокруг любого построенного треугольника, не попадает ни одна из заданных точек триангуляции.

В триангуляции можно выделить три основных вида объектов: узлы (точки, вершины), ребра (отрезки) и треугольники. Для описания структуры, определяющей элементы по этим трем объектам, существует несколько способов. Наиболее удобным в программировании является структура «Узлы и треугольники» [6].

На сегодняшний день существует порядка 30 различных алгоритмов построения триангуляции. Все они хорошо изучены и подробно описаны в соответствующей литературе. Каждый алгоритм обладает своими плюсами и минусами, поэтому для решения поставленной задачи будем использовать наиболее подходящий. Для рассматриваемой задачи таковым является итеративный алгоритм динамического кэширования. Сложность данного алгоритма складывается из трудоем-

кости поиска треугольника, в который на очередном шаге добавляется точка трудоемкости построения новых треугольников, а также трудоемкости соответствующих перестроений структуры триангуляции в результате неудовлетворительных проверок пар соседних треугольников полученной триангуляции на выполнение условия Делоне. Определив структуру исследуемого объекта по одному из алгоритмов, можно приступить непосредственно к МКЭ.

В настоящее время метод конечных элементов является одним из основных для решения вариационных задач, в том числе задач расчета напряженно-деформированного состояния конструкций [7]. Главным достоинством его является возможность решения задач для области любой формы, в то время как аналитические решения могут быть получены только для задач с достаточно простой геометрией. Универсальность и практичность метода стали главной причиной наличия достаточно большого количества специализированных пакетов и программ, выполняющих расчет огромного спектра задач [8].

В рассматриваемом случае в качестве объекта выступает пластина, моделирующая элемент палубы. Определение напряжений и перемещений в тонкой пластине может быть сведено к задаче отыскания прогибов w и функции Эри на срединной поверхности пластины, доставляющих минимум функционалу, представляющему собой сумму упругой энергии U пластины и взятой с обратным знаком работы внешних сил V на перемещениях $w(x, y)$ [9]:

$$\Pi = U + V. \quad (20)$$

Выражение для упругой энергии можно получить, вычислив работу изгибающих и скручивающих моментов на угловых перемещениях. При этом работой поперечных сил (из-за ее малости) можно пренебречь. Для бесконечно малого элемента работа моментов:

$$dU = \frac{1}{2}(M_x dy) \left(-\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) dx + \frac{1}{2}(M_y dx) \left(-\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) dy + \frac{1}{2}(H dy) \left(-\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) dx + \frac{1}{2}(H dx) \left(-\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) dy. \quad (21)$$

Подставляя в (21) выраженные ранее моменты и используя соотношения (16), имеем:

$$dU = \frac{D}{2} \left[\frac{-2\nu \Delta \Phi}{E} + \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 - 2 \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right) \right] dx dy. \quad (22)$$

Тогда полная энергия системы имеет вид

$$\Pi = \iint_s \frac{D}{2} \left[\frac{-2\nu \Delta \Phi}{E} + (\Delta w)^2 - 2 \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right) \right] dx dy - \iint_s p w dx dy. \quad (23)$$

Используя метод Ритца для поиска функций w и Φ , будем искать $w(x, y)$ и $\Phi(x, y)$ в виде

$$w = \sum_{i=1}^N C_i w_i(x, y) \\ \Phi = \sum_{i=1}^N \alpha_i \varphi_i(x, y), \quad (24)$$

где $w_i(x, y)$ и $\varphi_i(x, y)$ — базисные функции, а C_i и α_i — неизвестные постоянные.

Далее определяем базисные функции w_i и φ_i , затем вычисляем интегралы функционала Π . Теперь задача отыскания минимума функционала Π сводится к отысканию C_i и α_i , удовлетворяющих условиям:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial C_i} = 0, \quad \frac{\partial \Pi}{\partial \alpha_i} = 0, \quad i = 1 \dots N. \quad (25)$$

Вывод

Главной особенностью представленного метода является тот факт, что в отличие от традиционных методов расчета прочностных характеристик судна элементы палубного настила рассматриваются как изотропные пластины (традиционный способ расчета рассматривает корпус суд-

на как эквивалентный брус, т.е. однородную балку сложного строения). Использование системы дифференциальных уравнений Кармана уменьшает число расчетов вдвое. Достигается это путем введения функции Эри и решения системы дифференциальных уравнений (18), а не поэтапным вычислением деформаций, а затем напряжений. Представленный алгоритм и методы решения задачи оценки напряженно-деформированного состояния верхней палубы контейнеровоза позволяют автоматизировать процесс расчета прогибов судовых пластин, получить значения не только текущих параметров нагрузки, но и на основании численных значений и графических представлений дать оценку усталостной прочности нагружаемых поверхностей в процессе размещения контейнерных грузов. Это предотвращает разрушение элементов корпуса судна в процессе эксплуатации, а также обеспечивает информирование о местах, требующих особого внимания при ремонте судна, что в свою очередь обещает экономическую выгоду и дополнительный уровень безопасности.

Список литературы

1. *Быркова Е.* Рынок международных контейнерных перевозок: основные игроки и тенденции развития / Е. Быркова // Информационно-аналитическое издание Провэд., 2013 г., URL: <http://xn--blae2adf4f.xn--plai/analytics/research/6274-rinok-konteinerov.html>.
2. *Mechanica sive motus scientia analytice exposita*: в 2 т. — С.-Петербург, 1736 г. / Немецкий перевод Вольфера (Wolfers, J. P., Greifswald), 1848 и 1850.
3. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов / О. Зенкевич — М.: МИР, 1986 — 318 с.
4. *Бойцов Г. В.* Справочник по строительной механике корабля в 3 томах. — Т. 2. Пластины. Теория упругости, пластичности и ползучести. Численные методы / Г. В. Бойцов, О. М. Палий, В. А. Постнов, В. С. Чувиковский. — Л.: Судостроение, 1982. — С. 320–374.
5. *Постнов В. А.* Строительная механика корабля и теория упругости: учебник для вузов: в 2 т. — Т. 2 / В. А. Постнов, Д. М. Ростовцев, В. П. Суслев, Ю. П. Кочанов. — Л.: Судостроение, 1987. — Т. 1. — 288 с.
6. *Скворцов А. В.* Триангуляция Делоне и ее применение / А. В. Скворцов — Томск: Изд. Томского университета, 2002. — 128 с.
7. *Макарьянц Г. М.* Основы метода конечных элементов / Г. М. Макарьянц, А. Б. Прокофьев — Самара, Издательство СГАУ, 2013. — 80 с.
8. *Павленко И. В.* Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов и линейной теории упругости / И. В. Павленко. — Сумы, Издательство СумГУ, 2006. — 147 с.
9. *Бояршинов С. В.* Основы строительной механики машин / С. В. Бояршинов. — М.: Машиностроение, 1973. — 456 с.
10. *Малых М. Д.* Материалы семинара «Метод конечных элементов на примере первой краевой задачи для уравнения Пуассона» / М. Д. Малых. — М.: Физический факультет МГУ, 2012.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

И. А. Бурмака, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
Одесская национальная морская академия, ОНМА
burmaka-mob@ukr.net

А. Ю. Булгаков, ассистент
Одесская национальная морская академия, ОНМА
aleksandrbul2008@mail.ru

С. Н. Некрасов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
snn00707@rambler.ru

К. И. Ефимов, аспирант, ассистент
Научный руководитель: Некрасов С.Н. доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
kiefimov@gmail.com

Д. В. Трененков, аспирант
Научный руководитель: Некрасов С.Н. доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
trenenkov_d@mail.ru

С. Ф. Шахнов, кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
sfshah@yandex.ru

В. И. Решняк, доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
rv53@mail.ru

А. Г. Щуров, доктор педагогических наук, кандидат медицинских наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
shchag@mail.ru

О. В. Витязева, кандидат педагогических наук
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
vitjazeva_olga@mail.ru

О. К. Безюков, доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
Okb-nayka@yandex.ru

В. А. Жуков, доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
gukovv@rambler.ru

О. И. Ященко, аспирант, инженер-конструктор 3-й категории
Научный руководитель: О. К. Безюков, доктор технических наук, профессор
ОАО «Инженерный центр судостроения»
sollar_valley@list.ru

Н. И. Николаев, кандидат технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «ГМУ имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»
gerasidi@rambler.ru

В. В. Герасиди, кандидат технических наук, преподаватель
ФГБОУ ВПО «ГМУ имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»
gerasidi@rambler.ru

А. В. Лисаченко, аспирант
Научный руководитель: Н. И. Николаев, кандидат технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «ГМУ имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»
Alexx.liss@yandex.ru

В. В. Романовский, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
Vromanovsky@mail.ru

А. И. Лебедев, кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
lebedev.gumrf@gmail.com

А. Г. Гостев, аспирант
Научный руководитель: В. В. Романовский, доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
morflot-emf@rambler.ru

А. Б. Каракаев, доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
a.karakayev@gmail.ru

А. В. Луканин, кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
andrey.lukanin@mail.ru

С. Ю. Труднев, старший преподаватель
ФГБОУ ВПО «Камчатский Государственный Технический Университет»
trudnev@mail.ru

А. В. Григорьев, кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
a.grigorev@eds-marine.ru

В. Ю. Колесниченко, аспирант
Научный руководитель: А. В. Григорьев, кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
ni-hm@mail.ru

А. А. Марченко, соискатель, старший преподаватель
ФГБОУ ВПО «Камчатский государственный технический университет»
marchello21@mail.ru

Н. Н. Портнягин, доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет нефти и газа
имени И. М. Губкина»

Е. А. Романова, аспирант
Научный руководитель: Е.А. Чернышов, доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет
им. Р. Е. Алексеева»
nil_st@nntu.nnov.ru

А. Д. Романов, инженер
ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет
им. Р. Е. Алексеева»
nil_st@nntu.nnov.ru

Ч. М. Алиев, проректор по учебной и воспитательной работе
Азербайджанская Государственная Морская Академия
c.aliyev@caspar.az

Е. Н. Белецкий, главный технолог, кандидат технических наук
ОАО «Концерн НПО «Аврора»
BeletskiyEN@avrora.spb.ru

М. А. Москаленко, доктор технических наук, профессор
Морская академия Морского государственного университета им. адм. Г.И. Невельского
moskalenko@msun.ru

З. М. Субботин, аспирант
Научный руководитель: М. А. Москаленко, доктор технических наук, профессор
Морская академия Морского государственного университета им. адм. Г.И. Невельского
moskalenko@msun.ru

Л. В. Захарина, доцент, заместитель директора по учебной и научной работе
Сахалинское высшее мореходное училище им. Т. Б. Гуженко филиал
Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского
zakharina_l@mail.ru

Л. А. Хлюпин, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
Leonid-Khlupin@yandex.ru

А. Е. Воробьев, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
Российский университет дружбы народов
fogel_al@mail.ru

Ю. Г. Фирсов, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
gidrograph@mail.ru

М. В. Иванов, инженер по сложной технике
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
falcon6565@mail.ru

М. В. Колосков, аспирант
Научный руководитель: Ю. Г. Фирсов, кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
evgenklskv@mail.ru

В. Д. Савчук, кандидат технических наук, профессор
Одесская национальная морская академия, ОНМА
info@onma.edu.ua

Е. Н. Клименко, старший помощник капитана
Компания «TOPAS MARINE LTD.»
klymenkoevg@rambler.ru

И. П. Крат, старший преподаватель
Одесская национальная морская академия, ОНМА
info@onma.edu.ua

И. П. Скобелева, доктор экономических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
ifinansy@yandex.ru

Е. И. Адамов, кандидат технических наук, заведующий лабораторией
ФГБОУ ВО «Волжская государственная академия водного транспорта»
adamov17@rambler.ru

Н. С. Отделкин, доктор технических наук, профессор,
проректор по конвенционной подготовке
ФГБОУ ВО «Волжская государственная академия водного транспорта»
nik-otdelkin@vgavt-nn.ru

С. Н. Сикарев, кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Волжская государственная академия водного транспорта»
ssnvgavt@yandex.ru

П. Е. Железкова, аспирант
Научный руководитель: В. Г. Никифоров, доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
ver1tas@mail.ru

В. Г. Никифоров, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
NikiforovVG@gumrf.ru

А. В. Малько, аспирант

Институт проблем рынка и экономико-экологических исследований НАН Украины
lex.malko@mail.ru

В. Л. Ерофеев, доктор технических наук, профессор

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
erofejeva@ya.ru

Е. В. Ерофеева, кандидат экономических наук, исполнительный директор

ООО «РосЭнергоАудит»
erofejeva@ya.ru

Л. А. Еникеева, доктор экономических наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный экономический университет
enikeeva_lilia@mail.ru

Е. К. Торосян, кандидат экономических наук, доцент

Санкт-Петербургский национально-исследовательский университет информационных технологий механики и оптики
etorosyan@mail.ru

Т. Б. Фейлинг, кандидат педагогических наук, доцент

ФГБОУ ВПО «Государственная Полярная Академия»
feiling@mail.ru

Л. В. Пушкарева, доктор экономических наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный экономический университет
PLV1412@mail.ru

М. В. Ботнарюк, кандидат экономических наук, доцент

ФГБОУ ВПО «ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова»
mia-marry@mail.ru

А. С. Белоусов, аспирант

Научный руководитель: А. П. Нырков, доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
BelousovAS@gumrf.ru

В. А. Мальцев, аспирант

Научный руководитель: С. С. Соколов, кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
malcevva@gumrf.ru

Е. Д. Караваяева, кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
Karavaeva_ed@mail.ru

В. И. Караваяев, аналитик, кандидат технических наук

ЗАО «Степ Пазл»
K_v_i@mail.ru

Научное периодическое издание

**Вестник Государственного университета морского
и речного флота имени адмирала С. О. Макарова**

Выпуск 6 (28)

2014 год

Выпускающие редакторы
Е. А. Юдакова, Н. А. Карамзина
Дизайн и верстка *М. Н. Евсюткина*
Технический редактор *Е. И. Тюленева*

Подписано в печать 25.12.14. Формат 60х90/8
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 25,56. Тираж 500 экз. Заказ № 140М/14

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7