

ВЕСТНИК

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

Выпуск 5 (27)

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. 5. — 205 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; разработка морских и шельфовых месторождений нефти и газа.**

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.



© Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ	7
<i>Ксенофонтов Ю. Г.</i> Общее формализованное описание процесса функционирования системы охраны периметра морских объектов	7
СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА	12
<i>Макарьев Е. В.</i> Стенд для теплобалансных испытаний судовых ДВС	12
<i>Цветков Ю. Н.</i> Влияние высокодисперсных добавок в смазочные материалы на эффективность работы дизеля	19
<i>Иванченко А. А., Щенников И. А., Иванченко А. А.</i> Проблемы эксплуатации судов с дизельными установками нового поколения и задачи по их совершенствованию	26
<i>Мищенко В. Ф., Сафронов И. В.</i> Использование дискретного вейвлет-анализа в среде MatLab для расчета показателя искажения синусоиды напряжения судовой силовой сети питания	34
<i>Григорьев А. В., Зайнуллин Р. Р.</i> Анализ возможности и целесообразности применения систем электродвижения на судах вспомогательного флота	40
СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ	47
<i>Горохов М. С.</i> Трещиностойкость фибробетона со стальной анкерной фиброй	47
<i>Коротков В. А.</i> Технология ручной плазменной закалки	53
<i>Павлов А. В., Чистов В. Б.</i> Влияние остаточных напряжений на редуccionные коэффициенты ребер жесткости	60
<i>Васильев К. А.</i> Повышение эффективности работы системы местной вентиляции при механической обработке композиционных полимерных материалов, применяемых в современном судостроении	64
ЛОГИСТИКА И ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	75
<i>Давыденко А. А.</i> Прогноз развития портовой инфраструктуры государств — членов единого экономического пространства	75
<i>Иванова М. Б., Тимченко Н. Ю.</i> Структуризация целей транспортно-экспедиторской компании, обслуживающей водный транспорт	83
<i>Король Р. Г., Балалаев А. С.</i> Технология функционирования Владивостокского транспортного узла при наличии мультимодального терминала «сухой порт»	92
<i>Зубарев Ю. Я., Ловяников Д. С.</i> Оптимальное управление процессами совместной обработки экспортно-импортных и каботажных судов на контейнерных терминалах	101
ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	108
<i>Зиненко Н. Н., Николаев Н. И., Панамарев В. Е.</i> Методика контроля состава отработанных газов судовых малооборотных двигателей в эксплуатации	108

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.

<i>Вострикова М. А.</i> Моделирование процесса снижения загрязнения атмосферы выбросами оксидов серы от судовых энергетических установок	117
<i>Трунин Е. Г.</i> Прогнозирование загрязнения окружающей среды при управлении природопользованием в речных портах	122
<i>Липатов И. В., Пластинин А. Е.</i> Оценка гидродинамических условий при ликвидации разливов нефти	127
<i>Решняк В. И., Каляуш А. И., Решняк К. В.</i> Очистка нефтесодержащей подсланевой воды озоном	135
МЕЖДУНАРОДНОЕ МОРСКОЕ ПРАВО	141
<i>Арестова Ю. А., Погарская А. С.</i> Современное состояние и проблемы морского флота России	141
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	148
<i>Соколов С. С., Малов С. С., Карпина А. С.</i> Построение защищенной информационной системы персональных данных мониторингового центра оказания телематических услуг безопасности на транспорте	148
<i>Марлей В. Е., Плотников С. Н.</i> Графы классов и алгоритм распознавания изоморфного вложения алгоритмических сетей	158
<i>Чертков А. А., Тормаев Д. С., Сабуров С. В.</i> Параметрическая настройка ПИД-регуляторов динамических систем средствами MatLab	164
РАЗРАБОТКА МОРСКИХ И ШЕЛЬФОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА	172
<i>Фирсов Ю. Г.</i> Анализ особенностей программных модулей EIVA применительно к решению задач промышленной гидрографии	172
<i>Доровской В. А., Черный С. Г.</i> Нечеткие методы и модели управления интеллектуальными системами подводной добычи полезных ископаемых в условиях риска	184
ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ ГМА–ГУМРФ	192
<i>Клочков Б. Ф.</i> История кафедры теоретической механики ГМА–ГУМРФ	192

CONTENST

NAVIGATION AND SAFETY ON WATER TRANSPORT	7
<i>Ksenofontov Y. G.</i> The general formalized description of process of functioning of security system of perimeter of sea objects	7
SHIP POWER PLANTS, SYSTEMS AND EQUIPMENT	12
<i>Makar'yev Ye. V.</i> Stand for thermal balance testing of ships internal combustion engines	12
<i>Tsvetkov Yu. N.</i> Influence of superfine additives in lubricants on the performance of a diesel	19
<i>Ivanchenko A. A., Shchennikov I. A., Ivanchenko A. A.</i> Ship operating problems with the new generation of diesel engines and objectives for their improvement	26
<i>Mishchenko V. F., Safronov I. V.</i> Using of discrete wavelet transform in MatLab for calculation of sine distortion factor of ship's electrical power plant busbar	34
<i>Grigor'yev A. V., Zaynullin R. R.</i> Analysis of possibility and expediency of using of electrical propulsion plants on ships for auxiliary fleet	40
SHIPBUILDING AND SHIP REPAIR	47
<i>Gorokhov M. S.</i> Cracking resistance of fiber reinforced concrete with steel anchor fiber	47
<i>Korotkov V. A.</i> Technology manual plasma hardening	53
<i>Pavlov A. V., Chistov V. B.</i> Influence of residual stress on reduction factors of reinforcement ribs	60
<i>Vasilyev K. A.</i> Improve the effectiveness of the system of local ventilation during mechanical processing of polymer materials used in modern shipbuilding	64
LOGISTICS AND TRANSPORTATION TECHNOLOGIES	75
<i>Davydenko A. A.</i> Forecast of port infrastructure states — members of common economic space	75
<i>Ivanova M. B., Timchenko N. Yu.</i> Structurization of the purposes of the transport-forwarding company, serving the water transport	83
<i>Korol R.G., Balalayev A.S.</i> The technology functions Vladivostok transport hub in the presence of multimodal terminal “dry port”	92
<i>Zubarev Y. Y., Lovyanikov D. S.</i> Optimal management of the process of coasting and international vessels joint handling at container terminals	101
ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION	108
<i>Zinenko N. N., Nikolayev N. I., Panamarev V. Ye.</i> Methodology of control of exhaust gases composition of ship low speed engines in operation	108
<i>Vostrikova M. A.</i> Modeling reduction of air pollution emissions of sulfur oxides from ships power plants	117
<i>Trunin Ye. G.</i> Prediction of environmental pollution when environmental management in river ports	122

<i>Lipatov I. V., Plastinin A. E.</i> Evaluation hydrodynamic conditions in during liquidation of oil spills	127
<i>Reshnyak V. I., Kalyaush A. I., Reshnyak K. V.</i> Cleaning oily bilge water with ozone	135
INTERNATIONAL LAW OF THE SEA	141
<i>Arestova Yu. A., Pogarskaya A. S.</i> Modern condition (current status) and the problem of marine sea fleet of Russia	141
INFORMATION TECHNOLOGY	148
<i>Sokolov S. S., Malov S. S., Karpina A. S.</i> Creation of the personal information protected information system of the rendering telematic services of safety on transport monitoring center	148
<i>Marley V. E., Plotnikov S. N.</i> The class ntms and the algorithm of isomorphous investment of the algorithmic networks	158
<i>Chertkov A. A., Tormashev D. S., Saburov S. V.</i> Dynamic systems parametric arrange by means PID tuner in MatLab	164
DEVELOPMENT OF MARINE AND OFFSHORE OIL AND GAS	172
<i>Firsov Y. G.</i> EIVA hydrographic software main features analysis for the offshore survey implementation	172
<i>Dorovskoy V. A., Chernyy S. G.</i> Fuzzy methods and models of intelligent underwater mining systems for conditions of risk	184
ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ ГМА–ГУМРФ	192
<i>Klochkov B. F.</i> The history of the theoretical mechanics chair GMA–GUMRF	192

СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

УДК 681.51:629.12

Ю. Г. Ксенофонов,
старший преподаватель,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ОБЩЕЕ ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРА МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ

THE GENERAL FORMALIZED DESCRIPTION OF PROCESS OF FUNCTIONING OF SECURITY SYSTEM OF PERIMETER OF SEA OBJECTS

Одно из главных условий устойчивого и эффективного функционирования морского транспорта — это обеспечение транспортной безопасности (ТБ) на морских объектах. Форпостом в обеспечении безопасности таких объектов, в частности их берегового сегмента, являются периметральные охранные системы (ПОС). В данной статье рассмотрены вопросы, связанные с функционированием ПОС, представлена модель формализованного описания процесса функционирования, а также детализация возможных угроз объектам морского транспорта. Предложена система вероятностных показателей для оценки эффективности функционирования ПОС, а также перечислены основные нормативно-правовые документы в области ТБ.

One of the main conditions for sustainable and efficient operation of maritime transport — is to ensure transport safety (TS) at maritime objects. Voorpost in ensuring the safety of such objects, in particular, their coast segment are perimeter security system (PSS). This article discusses issues related to the operation of the PSS, a model of a formalized description of the process of functioning, as well as detailing potential threats to maritime transport objects. The system of indicators to assess the probability of efficiency of functioning of the PSS, and are the main legal documents in the field of TS.

Ключевые слова: технические средства охраны, инженерно-техническая укрепленность, периметр, морской объект, формализованное описание, оценка эффективности функционирования, транспортная безопасность.

Key words: technical means of protection, technical protection, perimeter, the sea object, the formalized description, assessment of efficiency of functioning, transport safety.

РОССИЯ традиционно относится к числу ведущих морских держав, играющих активную роль в изучении, освоении и эксплуатации Мирового океана. Для экономического и социального развития России морские пространства играют первостепенную роль. Это обусловлено протяженностью российской морской границы, которая составляет примерно 38,8 тыс. км. В связи с этим активность России в прибрежных морских пространствах может существенно повлиять на конкурентоспособность страны в финансовой, коммерческой, научной и социальной сферах, на создание условий, обеспечивающих реализацию национальных и геополитических интересов государства. Как следствие, обеспечение морской безопасности — одно из главных условий устойчивого и эффективного функционирования морских объектов.

В условиях роста угроз международного терроризма экстремистских организаций проблема морской безопасности выходит за рамки профессиональных интересов морского сообщества, становится в один ряд с другими общенациональными проблемами, требующими особого внимания как представителей силовых структур, так и науки.

Террористические угрозы морским объектам заставляют принимать адекватные меры по их предупреждению и блокированию. Форпостом в обеспечении безопасности таких объектов, их берегового сегмента являются периметральные охранные системы (ПОС). Особенность указанных систем заключается в том, что последние имеют большую протяженность в сотни метров и километров и устанавливаются на местности с различным рельефом, сложными климатическими условиями, соприкасаются с акваториями морских портов. Будучи форпостом систем безопасности, ПОС являются наиболее важным рубежом охраны, ибо формируют самый ранний сигнал тревоги о нарушении границы объекта, обуславливая запас времени для сил реагирования по блокированию нарушителей.

Одно из главных условий устойчивого и эффективного функционирования морского транспорта — это обеспечение транспортной безопасности (ТБ) на морских объектах. В ходе выполнения операций цепи поставок могут возникать различные угрозы (социогенные, техногенные и природно-естественного характера), воздействующие на элементы морской инфраструктуры и суда, приводящие к дестабилизации транспортно-технологических процессов, нарушению сроков поставок, ущербу, необходимости восстановления нарушенной структуры, потребности в мероприятиях по ликвидации последствий реализации угроз. Отдельно необходимо выделять такие угрозы, как морской терроризм и пиратство, характеризующиеся все более возрастающими масштабами.

Детализация возможных угроз, которые может реализовать нарушитель на территории морского объекта, представлена в виде блок-схемы на рис. 1.

К международным документам в области ТБ для морского транспорта можно отнести главу 11-2 Конвенции СОЛАС-74, Кодекс по охране судов и портовых средств (ОСПС), международные стандарты ИСО 20858 (суда и морские технологии) и ИСО 28000/2007 (Системы управления безопасностью цепи поставок. Технические условия). Наряду с международными нормативно-правовыми документами в РФ приняты национальные документы: закон «О транспортной безопасности» (№ 16-ФЗ), Комплексная программа обеспечения безопасности населения на транспорте (Указ Президента РФ № 403), а также закон «О безопасности» № 390-ФЗ. Они практически полностью формулируют задачи и пути обеспечения ТБ.

Для всех портов и портовых средств РФ существует общая проблема создания типовой эффективной ПОС, базирующейся на единых принципах, подходах, формализованных процедурах проектирования, функционирования и алгоритмах.

Формализованное описание и алгоритм построения ПОС детально изложены в [1, с. 15–20].

Для морских объектов основными сегментами защиты являются: периметр, территория, здания, сооружения, акватория (подводная и надводная среды). В рамках этих сегментов необходимо обеспечить безопасность персонала, пассажиров, грузов, транспортных средств, объектов инфраструктуры. С этой целью проводится оценка уязвимости то есть идентификация угроз, формулирование сценариев возможных угроз, определение ущерба и риска, анализируются мероприятия организационного и инженерно-технического характера, а также в рамках сил транспортной безопасности изучается документация объекта защиты, проводится обследование элементов объекта с учетом всех факторов: технологического процесса, используемого оборудования, персонала, грузов, процедур пропускного и внутриобъектового режимов, состояния ограждений периметров, используемых технических средств охраны (ТСО).

ПОС включает следующие составляющие [2]:

- персонал — силы транспортной безопасности (включая и внешние организации — ФСБ, МВД и др.);
- административно-организационную часть;
- инженерные средства укрепления (ограждения, козырьки и т. д.);
- собственно ТСО.

Для описания процесса функционирования комплекса ПОС можно принять три вида множеств:

- множество угроз $U = \{U_i\}$, где $i = \overline{1, m}$ — номер вида угрозы;
- множество участков периметра $O = \{O_j\}$, где $j = \overline{1, n}$ — номер участка периметра;
- множество средств обнаружения $M = \{M_k\}$, где $k = \overline{1, r}$ — номер ТСО.

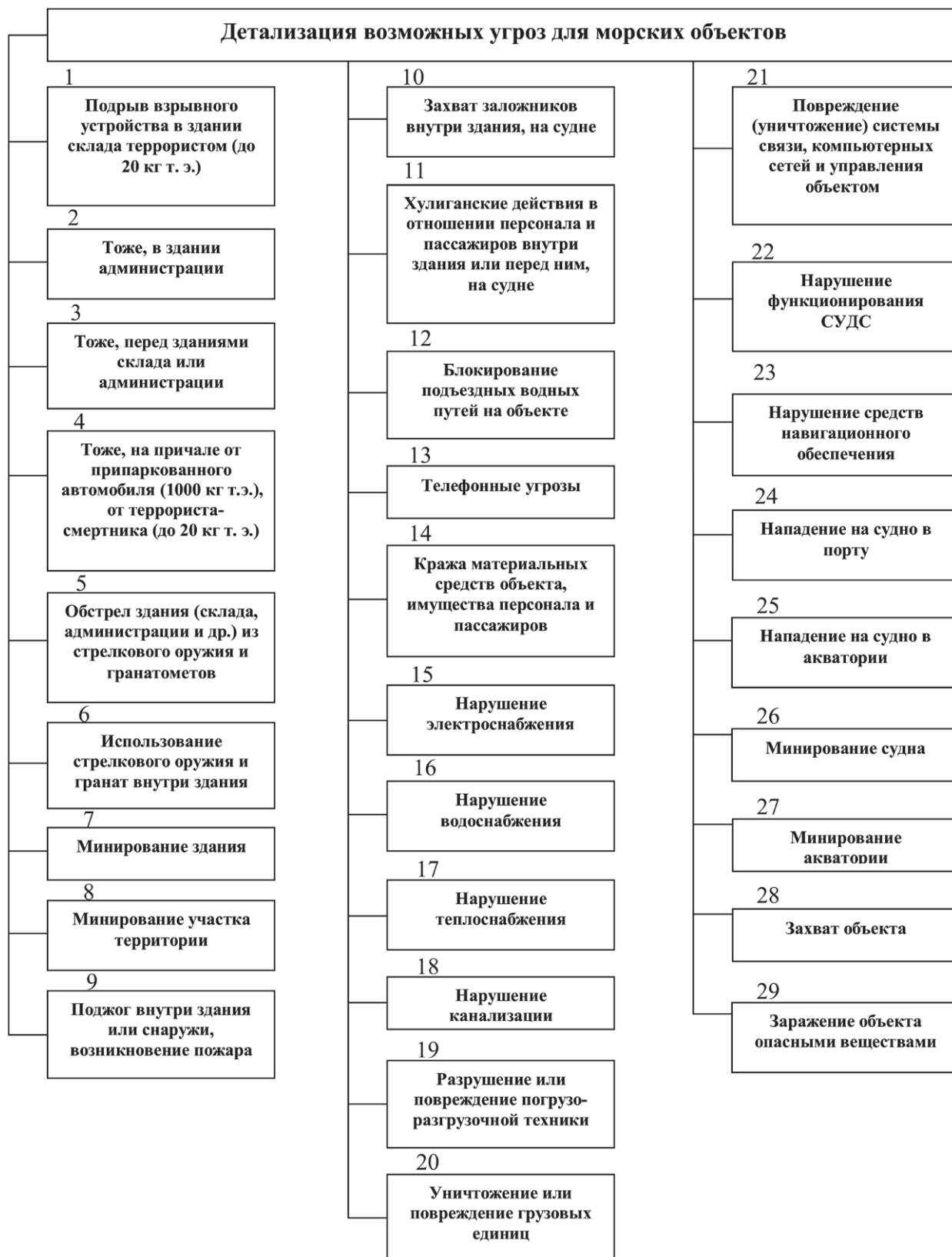


Рис. 1. Детализация угроз

Элементы множеств U и O находятся между собой в определенном отношении «угроза — участок периметра объекта», определяемом графом $G(X)$, где X — множество вершин графа $X = \{X_i\}$, где $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$ (рис. 2). Дуга $\langle U_i, O_j \rangle$ существует только тогда, когда U_i является средством получения доступа на объект через участок O_j .

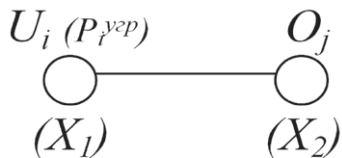


Рис. 2. Граф «угроза — участок периметра объекта»

Общая постановка задачи формулируется в следующем виде: множество средств защиты M обеспечивает прикрытие множества участков периметра O от множества угроз U . В идеальном случае каждое ТСО множества M должно предотвращать любую попытку несанкционированного проникновения на объект. В действительности эти средства выполняют функцию извещения о нарушении периметра, не обеспечивая сопротивление нарушителю. Вероятность обнаружения $P_{обн}$ — основная характеристика, присущая всем элементам множества M . Соответствующий граф представлен на рис. 3.

Вероятность реализации i -й угрозы на объекте зависит от ее обнаружения КТСО и успешного выполнения группой быстрого реагирования (ГБР) задачи по нейтрализации нарушителя. На рис. 4 представлен граф событий.

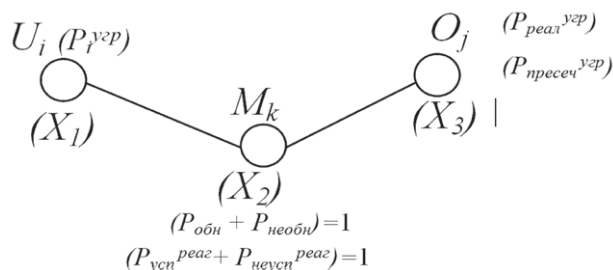


Рис. 3. Граф «угроза — средство обнаружения — участок периметра объекта»

Вероятность пресечения угрозы $P_{пресеч}^{угр}$ можно выразить как:

$$P_{пресеч}^{угр} = P_i^{угр} P_{обн} P_{усп}^{реал}.$$

Таким образом, применяя формализованное описание с подстановкой численных значений вероятностей, можно получить определенную оценку эффективности функционирования ПОС.

Показатель выполнения задач ПОС определяется, как правило, через вероятность успешной нейтрализации $P_{нейтр}$ нарушителя, охватывая все действия и составляющие ПОС, быстрого реагирования (ГБР).

Если говорить об эффективности сил охраны, то она определяется исходя из следующих критериев [3, с. 85–89]:

$$t_{приб} \rightarrow t_{сов}, P_{нейтр} \rightarrow 1,$$

где $t_{приб}$ — время прибытия ГБР к месту точки проникновения;

$t_{сов}$ — время, необходимое нарушителю для совершения противоправных действий на территории объекта;

$P_{нейтр}$ — вероятность своевременного успешного выполнения нейтрализации нарушителя ГБР.

В период эксплуатации эффективность ПОС можно представить в виде вероятностной функции

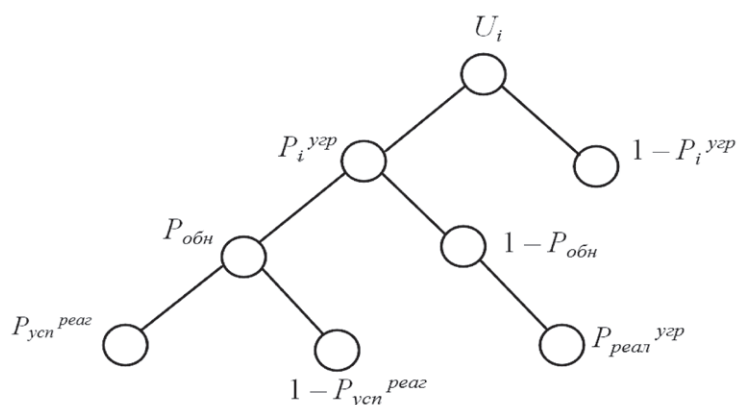


Рис. 4. Граф событий:

- $P_i^{угр}$ — вероятность возникновения i -й угрозы;
- $P_{реал}^{угр}$ — вероятность реализации i -й угрозы;
- $P_{обн}$ — вероятность обнаружения ТСО;
- $P_{усп}^{реал}$ — вероятность успешной локализации i -й угрозы силами реагирования;
- $P_{неусп}^{реал}$ — вероятность неуспешной локализации i -й угрозы силами реагирования

$\mathcal{E}_{\text{СБ}}^{\text{экспл}}$ от следующих показателей:

$$\mathcal{E}_{\text{ПОС}}^{\text{экспл}} = f(P_{\text{дф}}, P_{\text{перс}}, P_{\text{нейтр}}),$$

где $\mathcal{E}_{\text{ПОС}}^{\text{экспл}}$ — эффективность функционирования ПОС в период эксплуатации;

$P_{\text{дф}}$ — достоверность правильного функционирования ТСО;

$P_{\text{перс}}$ — вероятность своевременного выполнения соответствующих задач персоналом.

Предложенная система показателей позволит наиболее качественно оценить эффективность функционирования ПОС морских объектов в период эксплуатации, что даст возможность наиболее рационально определять ее элементный состав.

Список литературы

1. *Пивоваров А. Н.* Охранное оборудование и ограждения в периметральных системах охраны портовых средств / А. Н. Пивоваров, Ю. Г. Ксенофонтов // Эксплуатация морского транспорта. — СПб.: Изд-во ГМА имени адмирала С. О. Макарова, 2013. — № 1 (71).

2. *Пивоваров А. Н.* Периметральные охранные системы береговых и морских объектов в рамках кодекса ОСПС: учеб. пособие / А. Н. Пивоваров, С. А. Левчук, А. В. Мещеряков. — СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2008. — 148 с.

3. *Ксенофонтов Ю. Г.* Вопросы функционирования систем безопасности морских объектов / Ю. Г. Ксенофонтов // Вопросы оборонной техники. Сер. 16. — М.: Изд-во науч.-техн. центра «Информтехника», 2013. — Вып. 11–12 (66).

4. *Гарсия М.* Проектирование и оценка систем физической защиты / М. Гарсия; под ред. Р. Г. Магауенова. — М.: Мир, 2002. — 322 с.

5. *Магауенов Р. Г.* Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения / Р. Г. Магауенов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2004. — 367 с.

6. *Арасланов Ш. Ф.* Теория графов. Лекции и практические занятия: учеб. Пособие / Ш. Ф. Арасланов. — Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2013. — 86 с.

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

УДК 621.43

Е. В. Макарьев,

аспирант,

ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

СТЕНД ДЛЯ ТЕПЛОБАЛАНСНЫХ ИСПЫТАНИЙ СУДОВЫХ ДВС

STAND FOR THERMAL BALANCE TESTING OF SHIPS INTERNAL COMBUSTION ENGINES

В статье рассмотрена возможность создания испытательного стенда для проведения теплобалансных исследований судового ДВС с применением ультразвуковых теплосчетчиков и средств контроля теплоизлучения нагретых поверхностей.

The article considers the possibility of creation of the test stand for the conduction of heat-balanced research of ships internal combustion engines with application of ultrasonic heat meters and controls the heat radiation from heated surfaces.

Ключевые слова: тепловой баланс, ультразвуковые теплосчетчики, испытания ДВС, тепловое излучение.

Key words: heat balance, ultrasonic heat meters, testing of internal combustion engine, heat radiation.

И

ЗВЕСТНО, что тепловое состояние дизеля определяется распределением составляющих теплового баланса, величинами тепловых потоков, полями температур, их предельно допустимыми значениями и градиентами, видами теплообмена.

В зависимости от типа, конструкции и степени совершенства ДВС в эффективную работу преобразуется от 35 до 52 % теплоты, выделяющейся при сгорании топлива. Остальное составляют неизбежные тепловые потери, которые необходимо уменьшать и эффективно утилизировать.

Распределение тепловых потоков в ДВС определяется величинами составляющих теплового баланса двигателя. Указанные составляющие зависят от степени форсированности двигателя, конструкции и материалов деталей, особенностей организации рабочего процесса, характеристик систем теплового регулирования, преимущественных и предельных режимов работы, особенностей эксплуатации и качества технического обслуживания.

В работах [1, с. 16–19; 2, с. 3–7; 3] проведен статистический анализ экспериментальных данных по теплобалансным испытаниям на номинальной мощности более 30 типов поршневых двигателей. Однако представленные в них данные отражают возможности испытательных стендов и измерительной техники 1970–1980-х годов и не соответствуют современным требованиям, необходимым для обеспечения современного уровня энергоэкологического совершенства судовых ДВС [4; 5; 6, с. 50–52].

Поэтому на кафедре теории и конструкции судовых ДВС ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова под руководством д-ра техн. наук, профессора О. К. Безюкова и заведующего лабораторией СДВС М. П. Серженко был создан стенд для теплобалансных испытаний на базе судового дизель-генератора марки 3VD14,5/12-2SRW. Основные параметры испытываемого дизель-генератора представлены в табл. 1.

При создании указанного испытательного стенда коллективом кафедры решались следующие задачи:

— обеспечить возможность измерения всех величин, необходимых для определения каждой из составляющих теплового баланса испытуемого двигателя;

— осуществить возможность проведения испытаний на различных режимах работы испытуемого двигателя;

— предусмотреть возможность проведения испытаний двигателя при его работе с повышенной температурой охлаждающей жидкости (высокотемпературное охлаждение), а также при использовании различных видов теплоносителей внутреннего контура охлаждения.

Таблица 1

Основные характеристики дизель-генератора марки 3VD14,5/12-2SRW

Дизель-генератор	
Мощность, кВт	29
Напряжение,	115 В
Год производства	1987
Предприятие-производитель	VEB, Лейпциг, Германия
Дизель	
Модель	SKL, 3VD14,5/12-2
Тип	4-тактный, с водяным охлаждением, без наддува
Мощность, кВт	38
Частота вращения, об/мин	1500
Диаметр цилиндра, мм	120
Ход поршня, мм	145
Удельный расход топлива, г/(кВт*ч)	240
Генератор	
Модель	VEB GBCa 225 SIL-900S
Ток, А	278

При формулировке предполагаемого порядка проведения испытаний использовался ГОСТ Р ИСО 3046-1-99.

Для обеспечения нагрузки дизель-генератора испытательный стенд оснащен комплектом блоков резисторов, позволяющим обеспечить нагрузку дизель-генератора в диапазоне от 0 до 110 % от номинальной мощности. Управление нагрузкой обеспечивается с помощью лабораторного автотрансформатора (ЛАТР), подключаемого через выпрямитель к сети 220 В. Для определения нагрузки, приложенной к дизель-генератору, на щите управления установлены вольтметр и амперметр.

Определение составляющих теплового баланса испытуемого дизеля происходит с помощью произведения перечисленных ниже замеров.

1. Для определения теплоты, отводимой с отработанными газами дизеля, необходимо располагать значениями таких параметров, как расход и температура отработанных газов.

Значение расхода отработанных газов складывается из величины расхода топлива и количества воздуха, необходимого для его сгорания.

В собранной испытательной установке величина расхода топлива определяется с помощью лабораторных весов путем измерения времени расходования заданной навески топлива.

Расход воздуха определяется при помощи дроссельной шайбы, установленной во впускном воздушном трубопроводе, и подключенного к ней наклонного дифференциального микроманометра типа ММН. Для сглаживания пульсаций давления в воздушном трубопроводе после дроссельной шайбы установлен штатный воздушный фильтр.

2. Определение величины тепловых потоков, отводимых от двигателя с охлаждением, осуществляется следующим образом. Исследуемый дизель имеет двухконтурную систему водяного охлаждения: внутренний контур и контур забортной воды. Вода внутреннего контура охлаждает масляный холодильник, блок и головку цилиндров и выхлопной коллектор. На выходе из рубашки выхлопного коллектора установлен регулятор температуры охлаждающей жидкости, позволяющий перераспределять количество воды внутреннего контура, направляемой на водо-водяной охладитель либо в обход него на повторный цикл. Охлаждение воды внутреннего контура происходит в водо-водяном охладителе за счет перекачивания через него воды забортного контура.

Для измерения количества теплоты, отводимой от дизеля с водяным охлаждением, на экспериментальной установке смонтированы ультразвуковые теплосчетчики «Днепр-Теплоком». Указанные теплосчетчики предназначены для измерений и регистрации параметров теплоносителя (температуры, расхода), количества теплоносителя и количества теплоты (тепловой энергии) в водяных и паровых системах теплоснабжения.

Принцип работы теплосчетчика основан на непосредственном преобразовании вычислителем сигналов, поступающих от преобразователей (датчиков), в информацию об измеряемых параметрах теплоносителя с последующим вычислением на основании известных зависимостей, тепловой энергии.

В состав теплосчетчиков входят следующие средства измерений (составные части), зарегистрированные в Госреестре: расходомеры-счетчики «Днепр-7», вычислитель количества теплоты ВКТ-7, преобразователи температуры.

Общий вид основных компонентов представлен на рис. 1.

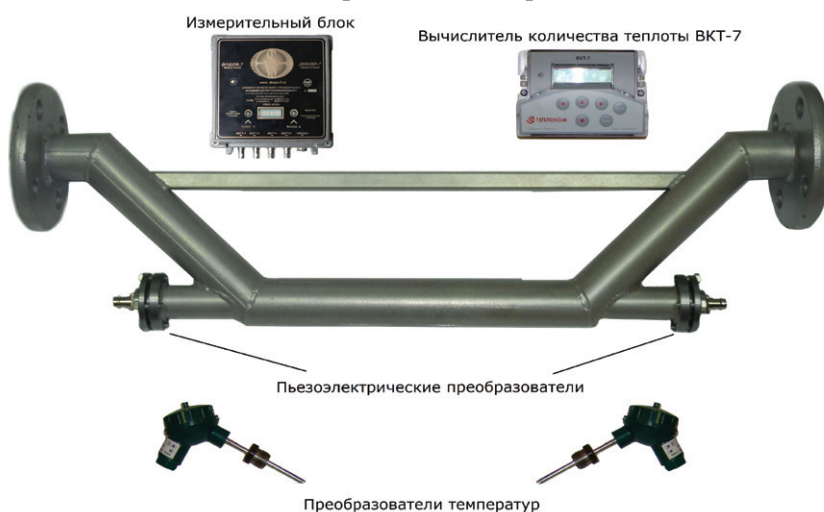


Рис. 1. Ультразвуковой теплосчетчик «Днепр-Теплоком»

Расходомер относится к ультразвуковым доплеровским расходомерам с непрерывным излучением и приемом отраженного сигнала пьезоэлектрическими преобразователями (ПП). ПП представляют собой накладные ультразвуковые датчики, выполненные с преломляющими ультразвук пластмассовыми призмами. Формирование излучаемых и принятых датчиками колебаний ультразвуковой частоты и обработка полученной информации производятся в процессорном блоке. Представление результатов измерений производится цифровым индикатором, размещенным на панели блока питания расходомера.

Вычислитель количества теплоты ВКТ-7 предназначен для измерений и регистрации параметров потока теплоносителя (горячей и холодной воды) и количества теплоты (тепловой энергии), а также количества других измеряемых сред. ВКТ-7 обеспечивает измерения тепловой энергии по одному или двум тепловым вводам (ТВ1 и ТВ2), представленным закрытой и/или открытой водяными системами теплоснабжения.

Преобразователи температуры представляют собой измерительные термопреобразователи сопротивления, соответствующие ГОСТ 6651.

Теплосчетчики обеспечивают регистрацию измерительной информации на внешнем устройстве (принтере, ПЭВМ и т. п.) посредством интерфейсов RS232, RS485, Centronics (M75), RS232 и RS485 (M77).

На созданной экспериментальной установке установлены следующие теплосчетчики:

— теплосчетчик «Днепр-7» исп. 05.080.1 RS-485, Ду36, 2-канальный — устанавливается на внутреннем контуре системы охлаждения дизеля: 1-й канал — измерение расхода воды через водо-водяной холодильник; 2-й канал — общий расход воды (на выходе из насоса внутреннего контура). Преобразователи температуры установлены на входе/выходе воды из водо-водяного холодильника, на 2-м канале установлен термометр контроля температуры воды, направляемой в обход водо-водяного холодильника;

— теплосчетчик «Днепр-7» исп. 05.080.1 RS-485, Ду36, 1-канальный — устанавливается на контуре забортной воды. Преобразователи температуры установлены на входе/выходе забортной воды из водо-водяного холодильника.

Теплосчетчики обеспечивают измерение потребленной тепловой энергии в соответствии с уравнением:

$$Q = K_q \cdot [M_{1(2)} \cdot (h_1 - h_2)], \text{ ГДж (Гкал)}, \quad (1)$$

где $M_{1(2)}$ — масса теплоносителя, отпущенная источником или полученная потребителем по подающему трубопроводу, и масса теплоносителя, полученная источником или возвращенная потребителем по обратному трубопроводу, соответственно, т;

h_1, h_2 — энтальпия теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах соответственно, Гкал/т;

K_q — системный коэффициент ($K_q = 1$ в системе МКС, $K_q = 4,1868$ в системе СИ).

Теплосчетчики обеспечивают архивирование информации о средних значениях параметров теплоносителя и тепловой энергии, а также регистрацию информации о массе и количестве тепловой энергии с нарастающим итогом.

Диапазоны измерений и пределы допускаемых значений относительной погрешности теплосчетчиков в рабочих условиях эксплуатации соответствуют значениям, указанным в табл. 2.

Таблица 2

Диапазоны измерений и пределы допускаемых значений относительной погрешности теплосчетчиков «Днепр-Теплоком»

Измеряемая величина	Диапазон измерений	Пределы относительной погрешности	Примечание
Количество теплоты, ГДж (Гкал)	0–107	$\pm(2+4\Delta t_{\text{н}}/\Delta t+0,01G_{\text{в}}/G) \%$	Класс С по ГОСТ Р 51649, класс 1 по ГОСТ Р ЕН 1434-1*
		$\pm(3+4\Delta t_{\text{н}}/\Delta t+0,02G_{\text{в}}/G) \%$	Класс В по ГОСТ Р 51649, класс 2 по ГОСТ Р ЕН 1434-1
Масса, т; Объем, м ³	0–108	$\pm 2 \%$	
Расход, м ³ /ч (т/ч)	0–106	$\pm 2 \%$	
Температура воды, °С	1–150	$\pm (0,35+0,005t) \text{ } ^\circ\text{C}$	Погрешность абсолютная
Разность температур, °С	3–150	$\pm (0,5+9/\Delta t) \text{ } \%^{1)}$	
		$\pm (1+12/\Delta t) \text{ } \%$	
Время, ч	49 999	$\pm 0,02 \%$	

Δt и $\Delta t_{\text{н}}$ — разность температур и ее наименьшее значение, равное 3 °С;

G и $G_{\text{в}}$ — значения расхода и верхнего предела диапазона измерений расходомера, м³/ч;

t — температура теплоносителя, °С.

* При применении комплектов термопреобразователей КТПТР класса 1 и КТСП-Н с минимальной разностью температур, равной 2 °С.

Схема системы охлаждения дизеля с установленными теплосчетчиками представлена на рис. 2.

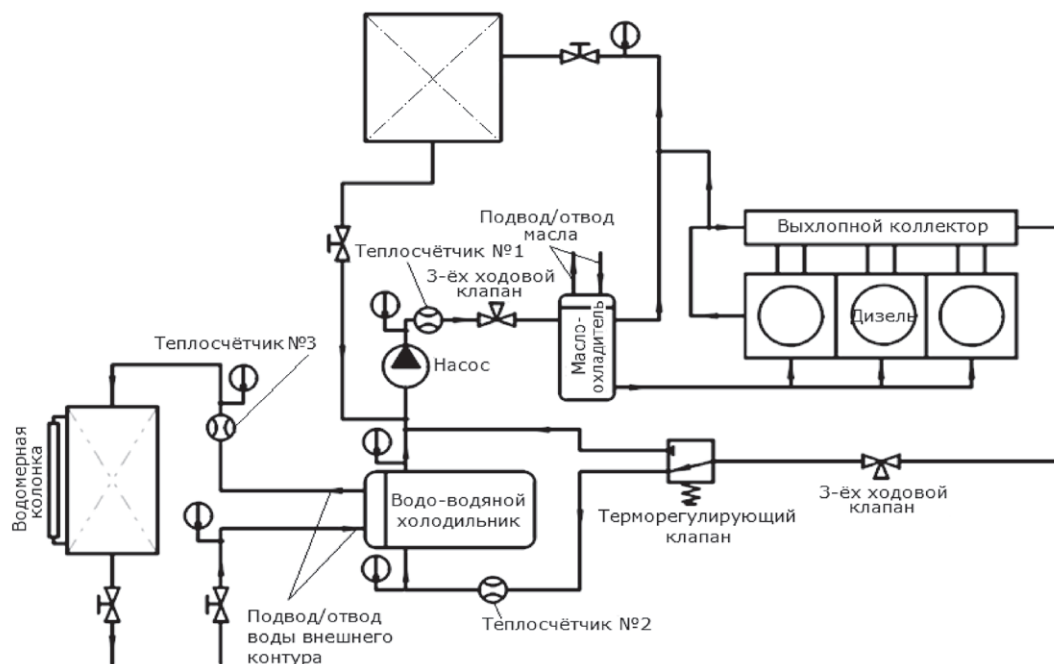


Рис. 2. Схема системы охлаждения дизеля 3VD14,5/12-2 с установленными теплосчетчиками

3. Для определения составляющей теплового баланса, связанной с отводом теплоты от смазочного масла, на входе в маслоохладитель установлен ультразвуковой расходомер «Днепр-7» исп. 05.040.1 (Ду20), а также два термометра на входе и выходе смазочного масла из маслоохладителя (см. рис. 3).

Принцип действия ультразвукового расходомера «Днепр-7» приведен выше. Однако так как штатных вычислителей количества теплоты (ВКТ), способных производить расчеты для таких сред, как смазочное масло, не существует, для созданного испытательного стенда было принято решение об использовании ультразвукового расходомера «Днепр-7» совместно с аналоговыми термометрами.

Схема системы смазки дизеля с установленными расходомером и термометрами показана на рис. 3.

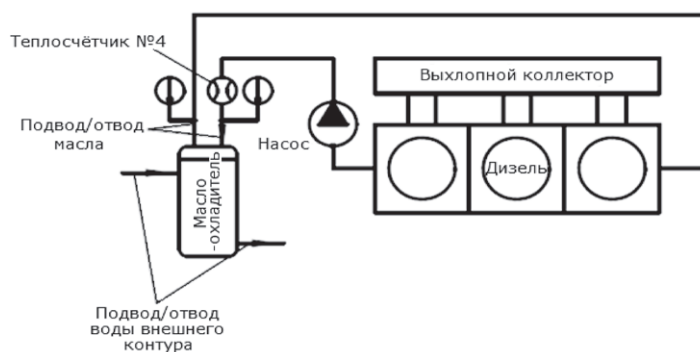


Рис. 3. Схема системы смазки дизеля 3VD14,5/12-2 с установленными расходомером и термометрами

Все измерительные блоки и вычислители количества теплоты, подключаемые к ультразвуковым расходомерам, установленным в системах охлаждения и смазки дизеля, смонтированы на общем щите.

Кроме перечисленных, на лабораторной установке смонтированы следующие приборы и оборудование, необходимые для проведения испытаний:

- 1) термометр для замера температуры окружающей среды и барометр;
- 2) термометр на коллекторе газовыпуска;

3) клапаны повышения давления на паротводной и подпорной линиях, необходимые для обеспечения работы дизеля на режиме высокотемпературного охлаждения, а также манометр, термометр и предохранительный клапан, необходимые для контроля состояния охлаждающей жидкости внутреннего контура.

Для контроля теплового состояния наружных поверхностей дизельных двигателей и соответствующей составляющей теплового баланса использованы [8, с. 83–90]:

- тепловизор TESTO 881 (Германия) (рис. 4, а):
- диапазон измеряемых температур $-20...+550\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- чувствительность $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- спектральный диапазон $8-14\text{ мкм}$;
- погрешность измерений $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- пирометр Raynger MX4 Plus (Германия) (рис. 4, б):
- диапазон измеряемых температур $-30...+900\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- спектральный диапазон $8-14\text{ мкм}$;
- погрешность измерений 1% ;
- время отклика $0,25\text{ с}$.
- терморегистрирующие устройства iButton Data Loggers (iBDL) модификации DS1922T-F5 (Dallas Semiconductor, США) (рис. 4, в):
- погрешность измерений $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- диапазон регистрируемых температур $0...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- погрешности измерения текущего времени $\pm 2\text{ мин/мес.}$;
- емкость счетчика (количества измерений) $16\,777\,215\text{ отсчетов}$;
- масса $3,3\text{ г}$.



Рис. 4. а — тепловизор TESTO 881 (Германия); б — Пирометр Raynger MX4 Plus (Германия); в — терморегистрирующие устройства iButton Data Loggers (iBDL) (США)

Для оценки точности определения составляющих теплового баланса на создаваемом стенде была проведена оценка погрешности измерений в соответствии с Р 50.2.038-2004 ГСИ.

Предел допустимой предельной погрешности измерительного прибора в процентах определялся по следующей формуле:

$$\delta_{\Pi} = \pm \frac{\Delta \Pi_{\text{пред}}}{A_{\Pi}} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где $\Delta \Pi_{\text{пред}}$ — предел допустимой абсолютной погрешности измерительного прибора; A_{Π} — показания прибора.

Величина предела допустимой абсолютной погрешности $\Delta \Pi_{\text{пред}}$ определялась через класс точности прибора γ и конечное значение его шкалы $A_{\text{к}}$ по следующей формуле:

$$\Delta \Pi_{\text{пред}} = \pm \frac{1}{100} \cdot A_{\text{к}} \cdot |\gamma|. \quad (3)$$

Относительная погрешность косвенных измерений определялась по следующей формуле:

$$\xi = \pm \frac{dV}{V} = d(\ln V), \quad (4)$$

где V — исследуемая величина, являющаяся функцией нескольких независимых переменных, определяемых в результате прямых измерений.

Принципиальная схема созданного испытательного стенда представлена на рис. 5.

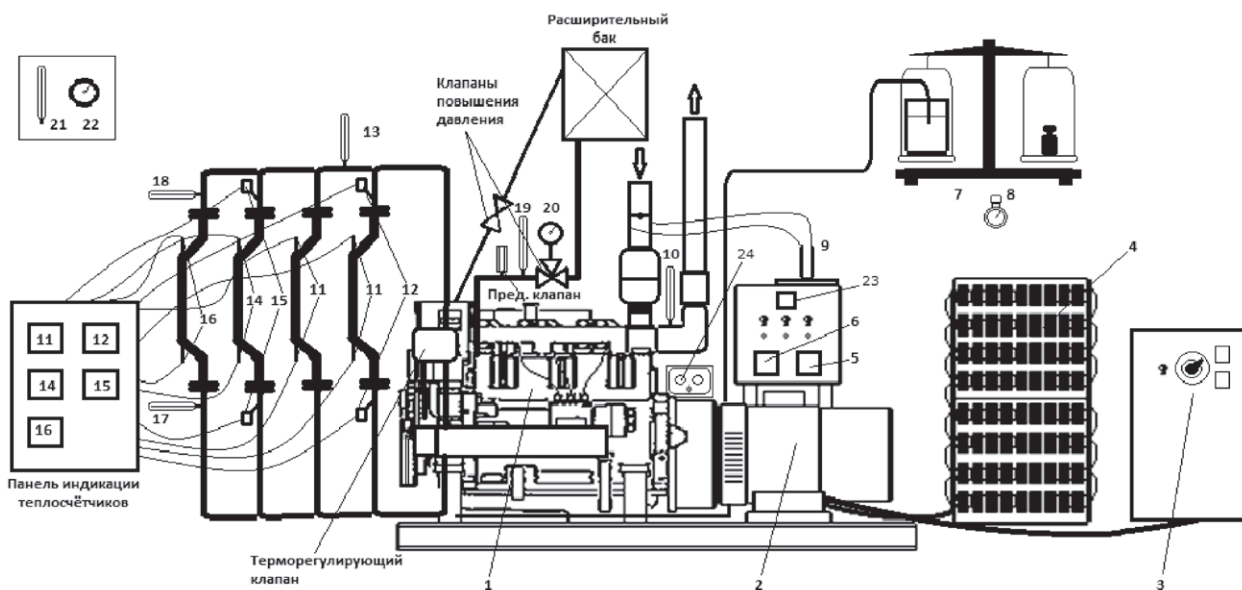


Рис. 5. Принципиальная схема лабораторной установки:

1 — дизель 3VD14,5/12-2; 2 — генератор VEB GBCa 225 SIL-900S;

3 — ЛАТР ____; 4 — блок резисторов; 5 — амперметр;

6 — вольтметр; 7 — весы; 8 — секундомер;

9 — дифференциальный микроманометр типа ММН, подключенный к дроссельной шайбе;

10, 13, 17, 18, 19, 21 — термометры;

11 — двухканальный расходомер «Днепр-7» (внутренний контур охлаждения);

12 — преобразователи температуры и блок ВКТ-7 (внутренний контур охлаждения);

14 — одноканальный расходомер «Днепр-7» (внешний контур охлаждения);

15 — преобразователи температуры и блок ВКТ-7 (внешний контур охлаждения);

16 — одноканальный расходомер «Днепр-7» (смазочное масло);

20 — манометр системы охлаждения внутреннего контура;

22 — барометр; 23 — тахометр;

24 — манометр смазочного масла

Таким образом, разработан стенд и предложен комплекс современных средств измерения, позволяющий определить с высокой точностью составляющие теплового баланса судового дизеля во всем диапазоне его нагрузок, оценить влияние степени совершенства рабочего процесса и технического состояния ДВС и его систем на распределение тепловых потерь, разработать меры по их эффективной утилизации.

Список литературы

1. Бажан П. И. Зависимости для расчета механического КПД и составляющих теплового баланса в воду и масло для среднеоборотных дизелей / П. И. Бажан, В. Я. Аладышкин // Двигателестроение. — 1986. — № 3.
2. Кривов В. Г. Комплексное электроснабжение на базе дизельных электростанций с внешней утилизацией отходящей теплоты / В. Г. Кривов, С. А. Синатов, С. Д. Гулин // Двигателестроение. — 1989. — № 9.
3. Костин А. К. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания: справ. пособие / А. К. Костин, В. В. Ларионов, Л. И. Михайлов. — Л., 1979. — 222 с.
4. Пахомов Ю. А. Основы научных исследований и испытаний тепловых двигателей / Ю. А. Пахомов. — М.: ТрансЛит, 2009. — 432 с.: ил.
5. Безюков О. К. Основы комплексного совершенствования охлаждения судовых дизелей: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.08.05 / О. К. Безюков; СПГУВК. — СПб., 1996. — 48 с.
6. Жуков В. А. Автоматизация тепловых испытаний двигателей внутреннего сгорания / В. А. Жуков, Е. Н. Николаенко // Двигатели внутреннего сгорания. — Харьков: ХПИ, 2011. — № 2.
7. ГОСТ Р ИСО 3046-1-99. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Характеристики. — Ч. 1: Стандартные условия, объявленная мощность, расходы топлива и смазочного масла. Методы испытаний.
8. Безюков О. К. Средства для контроля теплового состояния деталей остова судовых дизелей / О. К. Безюков, А. А. Кардаков // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2009. — № 2.

УДК 621.892:621.436

Ю. Н. Цветков,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОДИСПЕРНЫХ ДОБАВОК В СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ

INFLUENCE OF SUPERFINE ADDITIVES IN LUBRICANTS ON THE PERFORMANCE OF A DIESEL

Проведен анализ влияния ультрадисперсных добавок — порошков оловянистой бронзы и фуллереновой сажи в моторное масло и порошков дисульфида молибдена и полититанатов калия в твердое смазочное покрытие на юбках поршней — на характеристики работы дизеля. Все добавки практически не влияли на механический КПД, но порошки оловянистой бронзы и дисульфида молибдена приводили к повышению индикаторного КПД дизеля. Возможная причина положительного влияния добавок дисперсных частиц на индикаторный КПД — попадание частиц с маслом в камеру сгорания и их каталитическое действие на горение топлива.

The influence of superfine additives — powders of tin bronze and fullerene soot into motor oil and molybdenum disulfide and potassium titanate into the bonded film lubricant on piston skirts — on the diesel performance was investigated. All the additives investigated had no effect upon the mechanical efficiency of the diesel, but the addition of tin bronze powder to motor oil and molybdenum disulfide to the bonded film lubricant on the piston skirts results in the increase in indicated efficiency. The probable cause of positive influence of high-dispersed particles on the indicated efficiency is the ingress of the particles into the combustion chamber and their catalytic effect on the fuel burning.

Ключевые слова: дизель, моторное масло, фуллереновая сажа, ультрадисперсный порошок, оловянистая бронза, дисульфид молибдена, полититанаты калия, твердое смазочное покрытие, юбка поршня, износ, индикаторный КПД, механический КПД.

Key words: diesel, motor oil, fullerene soot, superfine powder, tin bronze, molybdenum disulfide, potassium titanate, bonded film lubricant, piston skirt, wear, indicated efficiency, mechanical efficiency.

Введение

Известно, что в поршневых двигателях внутреннего сгорания (ДВС) на преодоление трения безвозвратно теряется до четверти располагаемой энергии газов. При этом до 65 % всех механических потерь в ДВС приходится на трение между деталями цилиндропоршневой группы, прежде всего на долю сопряжений *поршневые кольца–зеркало цилиндра* и *тронк поршня–зеркало цилиндра*. Неслучайно в практике эксплуатации ДВС одним из главных направлений снижения механических потерь является применение антифрикционных и противоизносных добавок в виде высоко- и ультрадисперсных порошков различных неорганических веществ в смазочные материалы: моторное масло, твердые смазочные покрытия на тронках поршней и др.

Добавки дисперсных порошков мягких металлов в моторные масла, в отличие от традиционных присадок, которые изменяют в нужном направлении свойства только самого масла, оказывают влияние не на свойства масла, а на свойства поверхностей трения, смазываемых этим маслом. В ДВС и других смазываемых механизмах для улучшения триботехнических характеристик узлов трения, детали которых изготовлены из железоуглеродистых сплавов, широко применяются порошки меди и медных сплавов [1]. Предполагается, что частицы порошка будут формировать на поверхности тончайший слой мягкого металла или при «намазывании» частиц на поверхность, или за счет действия молекулярных сил, или в результате образования металлической связи [1]. Пленка мягкого металла, образовавшаяся на поверхности трения, создает условия для существования граничного слоя большей толщины [2, с. 176–187], то есть слоя толщиной не в одну, а в несколько молекул. Увеличение толщины граничного слоя смазочного материала приводит к существенному снижению адгезионной составляющей трения. Как показывают результаты исследований [3, с. 13–19], основная доля механических потерь (до 80 %) в ДВС приходится именно на граничный, а не на гидродинамический режим смазки, поэтому применение указанных дисперсных добавок в моторном масле представляется оправданным. Однако для того, чтобы частицы порошка, содержащиеся в моторном масле, начали формировать пленку на поверхностях трения необходимо обеспечить низкие значения нагрузок и скоростей скольжения, а также подавление доступа кислорода к зоне фрикционного контакта [4, р. 240–245]. Такие условия в практике эксплуатации ДВС в большинстве случаев не обеспечиваются. Вместе с тем, даже несмотря на отсутствие эффекта металлоплакирования, добавки ультрадисперсных порошков медных сплавов в моторное масло часто приводят к повышению эффективного КПД двигателей и, как следствие, к снижению расхода топлива. Но каким образом достигается в этом случае положительный эффект, неясно.

В твердые смазочные покрытия (ТСП), которые, как известно, состоят из связующего и высокодисперсного наполнителя, в качестве последнего вводятся порошки твердых смазочных материалов — чаще всего дисульфида молибдена (MoS_2) или графита. Распространенными связующими являются полимеры на основе фенолформальдегидной или эпоксидной смолы, напри-

мер клеи БФ-2, БФ-4. ТСП получают после отверждения в результате термической обработки суспензии (полимерного связующего с дисперсным наполнителем), которую наносят на поверхность трения деталей, в том числе и на юбки (тронки) поршней ДВС. Служат такие покрытия в основном в качестве приработочных. И хотя термин «приработочные» является условным, многие ТСП сохраняются на поверхностях трения долгое время, значительно превышающее продолжительность приработки, им подчеркивается, что ТСП предназначены для защиты поверхностей трения в тяжелых условиях работы, характеризующихся недостатком смазочного материала, который может ощущаться на некоторой площади поверхностей в период приработки, то есть неприработанных. Что касается антифрикционного действия подобных покрытий в ДВС, то здесь также много «белых пятен». Как показывают эксперименты на машинах трения, сочетание в трибосопряжениях силумина и серого чугуна — распространенных материалов для изготовления поршней и втулок цилиндров соответственно — характеризуется при смазывании моторным маслом очень низким коэффициентом трения при работе в условиях граничной смазки. Величина коэффициента трения может опускаться до 0,005–0,006, и достижение еще более низких значений дополнительными технологическими мероприятиями проблематично, а поэтому применение ТСП на материалах такого трибосопряжения приводит, как правило, не к снижению, а к увеличению коэффициента трения. Тем не менее применение ТСП, содержащих дисульфид молибдена, на тронках поршней во многих случаях приводит к снижению расхода топлива, а почему — также непонятно.

Таким образом, целью представленной работы является анализ влияния высокодисперсных добавок в смазочные материалы на эффективность работы дизеля.

Методика проведения экспериментов

Испытания проводили на двухцилиндровом дизеле воздушного охлаждения 2Ч10,5/12. Номинальные мощность и частота вращения коленчатого вала дизеля равны 22,1 кВт и 2000 об/мин соответственно. Поршни были изготовлены из алюминиевого сплава АК12М2МгН. Во всех испытаниях в качестве моторного масла использовали минеральное масло *Лукойл Супер Дизель SAE 15W-40 API CF-4/SG*.

Провели пять серий экспериментов.

- 1) с добавками ультрадисперсного порошка оловянистой бронзы в моторное масло;
- 2) с добавками фуллереновой сажи в моторное масло;
- 3) с ТСП, нанесенным на тронки поршней, состоящим из связующего (клея БФ-2) и высокодисперсного порошка дисульфида молибдена;
- 4) с ТСП, нанесенным на поршни, состоящим из одного связующего — клея БФ-2 (без добавок антифрикционных наполнителей);
- 5) с ТСП, нанесенным на поршни, состоящим из связующего (клея БФ-2) и высокодисперсного порошка полититанатов калия.

Основной объем экспериментов проводили с высокодисперсными порошками оловянистой бронзы и дисульфида молибдена (соответственно серии 1 и 3, см. выше). Порошки оловянистой бронзы и дисульфида молибдена были выбраны по той причине, что эти материалы относятся к одним из самых распространенных, применяемых в качестве добавок соответственно в моторное масло и ТСП.

Эксперименты серий 2, 4 и 5 проводили в качестве дополнительных для анализа результатов, полученных в сериях 1 и 3. Фуллереновая сажа и полититанаты калия были выбраны для экспериментов в сериях 2 и 5 на том основании, что фуллерены [5, с. 3253–3255] и полититанаты калия [6] являются сравнительно новыми материалами и вследствие своих уникальных и еще не до конца изученных свойств могут оказаться перспективными при использовании в триботехнических материалах.

Каждая серия экспериментов состояла из двух стадий. На первой стадии в случае проверки влияния дисперсных добавок в масло испытывали дизель с моторным маслом без добавок, а на

второй — с моторным маслом, в которое добавляли определенное количество дисперсного порошка. Соответственно при испытаниях ТСП на первой стадии испытанию подлежал дизель с поршнями без покрытий, а на второй — с теми же поршнями, но на тронки которых было нанесено покрытие с соответствующим дисперсным наполнителем.

Ультрадисперсный порошок оловянистой бронзы для добавок в моторное масло был получен методом плазменной перекомденсации и содержал помимо олова (около 5 %) примерно 9 % кислорода в составе различных оксидов. Требуемое количество порошка диспергировали предварительно в небольшом количестве масла И-20А с добавкой поверхностно-активных веществ, а уже полученную суспензию добавляли к основному объему масла в картере дизеля.

Фуллереновая сажа была получена методом Хаффмана–Кречмера и содержала около 10 % фуллеренов, из которых примерно 65 % составлял фуллерен C_{60} , 32–33 % — фуллерен C_{70} и 2–3 % — высшие фуллерены. Сажу также предварительно замешивали в небольшом количестве масла с помощью ультразвукового диспергатора и полученную суспензию добавляли потом к основному объему масла в картере дизеля.

Частицы порошка MoS_2 имели средний размер около 1,5 мкм. Частицы полититанатов калия имели вид чешуек; средний размер агломератов частиц составлял 3–5 мкм.

Технология нанесения ТСП описана в работе [7, с. 13–18]. Средняя толщина покрытия составляла 10 мкм.

Для испытаний брали приработанные цилиндры и поршневые кольца. В процессе испытаний проводили измерения расхода топлива, регистрировали индикаторные диаграммы дизеля и температуры стенок цилиндров и выхлопных газов. Во время испытаний поддерживали постоянными: частоту вращения коленчатого вала дизеля (1600 ± 15 об/мин), температуру масла в картере (90 ± 2 °С), воздуха, обдувающего цилиндры (30 ± 2 °С) и воздуха, подаваемого в двигатель (30 ± 2 °С). Индикаторный и механический КПД рассчитывали методом сопоставления индикаторной и эффективной мощности дизеля. Дополнительно для оценки механических потерь и давления в конце цикла сжатия проводили испытания методом проворачивания коленчатого вала с помощью электродвигателя, перекрыв подачу топлива в дизель.

Результаты испытаний высокодисперсных добавок в моторное масло

Добавка нескольких десятых процента ультрадисперсного бронзового порошка в масло приводит на большинстве режимов к снижению удельного эффективного расхода топлива на 4–6 %. Снижение температуры отработанных газов при этом колеблется от 15 °С на 25-процентной мощности до 29 °С на нагрузке 60 %. Намного более существенный положительный эффект — снижение расхода топлива составило 15 % — был зарегистрирован на 75-процентной нагрузке, при этом содержание монооксида углерода в газах в масле снизилось в 3 раза (при добавке 0,225 % порошка бронзы).

Анализ причин изменения эффективного КПД показал, что его увеличение произошло не за счет увеличения механического КПД (его значение практически не изменилось (рис. 1, а)), а за счет увеличения индикаторного КПД (рис. 1, б). Малая чувствительность механического КПД к содержанию УДП в масле подтверждается и результатами измерения механических потерь методом проворачивания коленчатого вала дизеля от электродвигателя.

Добавка же фуллереновой сажи в моторное масло не оказала на КПД дизеля никакого влияния (рис. 2). Изменения как механического, так и индикаторного КПД, при варьировании концентрации сажи в масле и мощности дизеля были очень незначительными, и в этих изменениях трудно заметить какую-либо устойчивую тенденцию.

Результаты испытаний ТСП на тронках поршней

Обработка результатов испытаний поршней, покрытых ТСП, содержащим дисульфид молибдена, показала заметное снижение удельного расхода топлива. Причем экономия топлива тем больше, чем ближе режим работы к номинальному, например на доле мощности, равной 75 %,

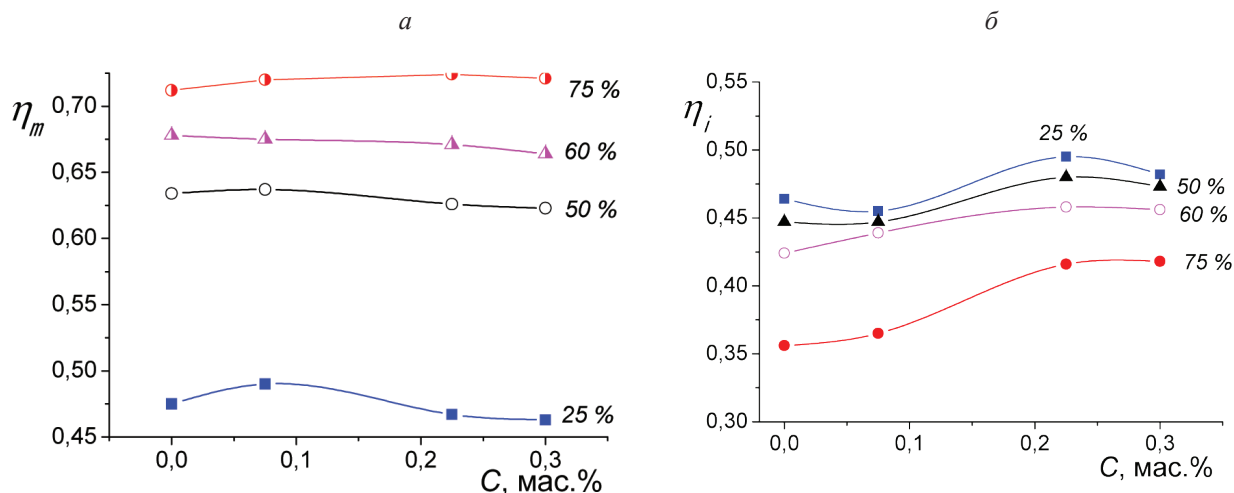


Рис. 1. Изменение механического (а) и индикаторного (б) КПД с изменением концентрации бронзового порошка в моторном масле. Числа на поле рисунка — значения долевой мощности

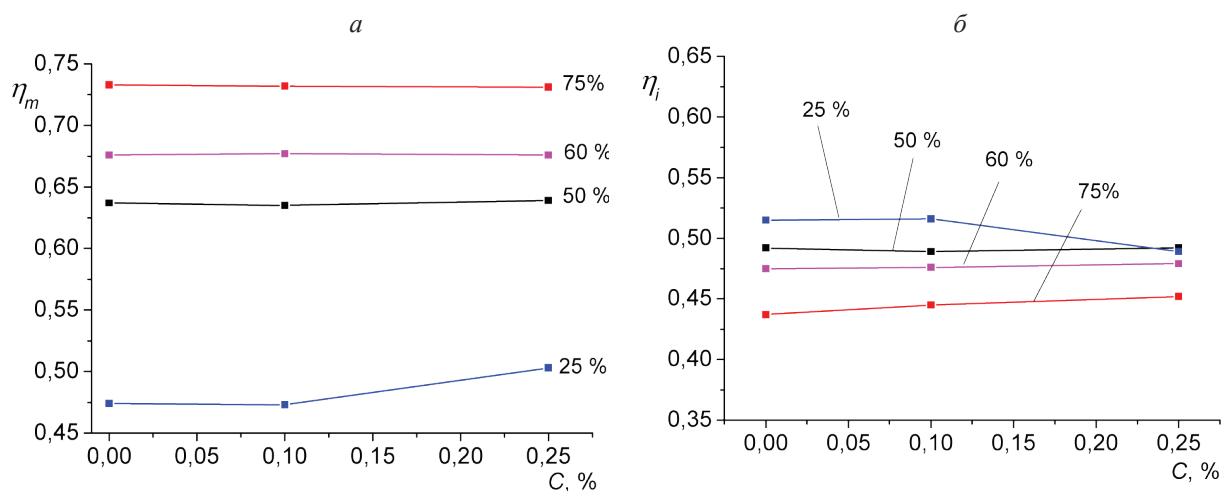


Рис. 2. Зависимость механического (а) и индикаторного (б) КПД дизеля от концентрации фуллереновой сажи в моторном масле при разных значениях долевой мощности

снижение удельного расхода топлива составило более 5 % [7]. Снижение удельного расхода топлива после нанесения на поршни ТСП с MoS_2 привело к существенному снижению температур как стенок цилиндров в районах максимальной скорости движения поршня (при работе на долевой мощности, близкой к номинальному значению, более чем на 20 °С) так и выхлопных газов.

Как видно из рис. 3, так же как и в случае добавок ультрадисперсного порошка оловянистой бронзы в моторное масло (см. рис. 1), снижение удельного расхода топлива при испытании поршней с ТСП, содержащим MoS_2 , произошло исключительно из-за увеличения индикаторного КПД, механический же КПД практически не изменился. Такой результат нельзя назвать случайным: оценка механических потерь в дизеле методом проворачивания коленчатого вала дизеля с помощью электродвигателя показала, что механические потери после нанесения на поршни ТСП, содержащего MoS_2 , даже увеличились примерно на 5 %. И хотя результаты, получаемые в режиме проворачивания коленчатого вала от постороннего источника энергии, нельзя без существенных поправок переносить на рабочие условия, тем не менее они указывают на то, что нанесение ТСП, содержащих дисульфид молибдена, не всегда приводит к снижению трения в условиях смазки.

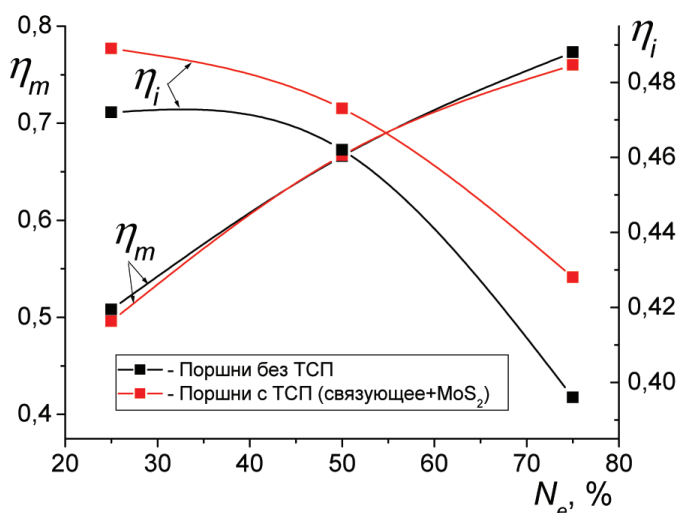


Рис. 3. Влияние ТСП, содержащего MoS_2 , на зависимость индикаторного и механического КПД от долевого мощностного фактора

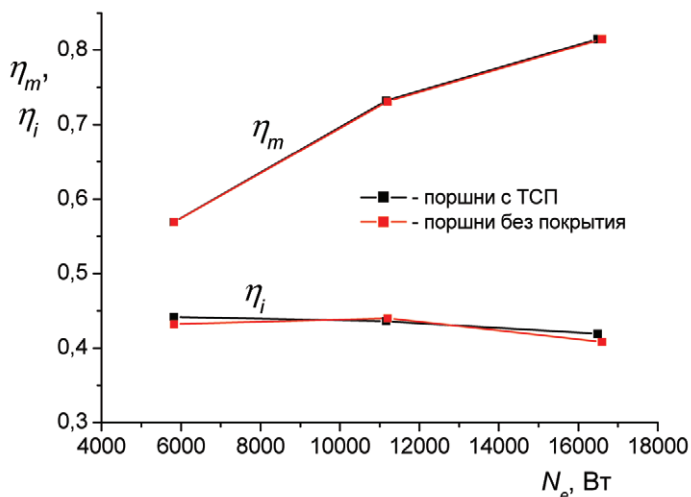


Рис. 4. Влияние твердого смазочного покрытия, содержащего полититанаты калия, нанесенного на поршни дизеля, на механический (η_m) и индикаторный (η_i) КПД дизеля

Затем были проведены эксперименты с поршнями, на юбки которых было нанесено покрытие из одного связующего, то есть без добавок MoS_2 . В этом случае никакого изменения (ни индикаторного, ни механического КПД) зарегистрировано не было. То есть причину в повышении индикаторного КПД в случае использования на поршнях ТСП с дисульфидом молибдена нельзя объяснить действием полимерного связующего, например теплоизолирующим или каким-либо иным; на величину индикаторного КПД оказал влияние именно присутствующий в покрытии дисульфид молибдена.

Однако не все высокодисперсные добавки в твердые смазочные покрытия оказывают влияние на КПД дизеля. Из рис. 4 видно, что замена порошка дисульфида молибдена в ТСП на порошок полититанатов калия не повлекла за собой каких-либо изменений в КПД дизеля.

Анализ причин влияния добавок УДП на индикаторный КПД дизеля

Значение индикаторного КПД зависит от множества факторов. Отличительная особенность применения дисперсных порошков неорганических веществ в качестве добавок в моторное масло и в ТСП, наносимые на поршни ДВС, в том, что они могут оказывать влияние не только на трибологические характеристики пар трения цилиндропоршневой группы, но и на рабочие процессы в двигателе,

так как малое их количество с моторным маслом обязательно попадает в камеру сгорания двигателя. Однако в научной литературе обращается внимание прежде всего на влияние таких добавок на механические потери в двигателе, тогда как информация об их влиянии на индикаторный КПД отсутствует.

Добавки бронзового ультрадисперсного порошка в моторное масло оказывают, вероятно, влияние на полноту сгорания топлива. Известно, что медь является катализатором горения и снижает энергию активации реакций окисления, происходящих в камере сгорания ДВС [8, с. 23–24]. Попадая в камеру сгорания с моторным маслом, частицы бронзы могут оказывать каталитическое действие. Этими же причинами вызвано, по всей видимости, и увеличение индикаторного КПД после нанесения на юбки поршней ТСП, содержащего MoS_2 : частицы дисульфида молибдена из ТСП попадают при трении в масло, и с маслом — в камеру сгорания дизеля, где они оказывают ка-

талитическое действие на процесс горения топлива. Последнее предположение требует дальнейшей экспериментальной проверки, так как автору не известны упоминания в научной литературе о подобном каталитическом действии дисульфида молибдена.

Высказанные выше предположения могут оказаться актуальными также при обработке деталей дизелей широко применяемыми в настоящее время геомодификаторами трения [9, с. 71–81], так как различные оксиды, содержащиеся в модификаторах или образующиеся в процессе обработки ими поверхностей трения, могут оказывать каталитическое действие [10] при их попадании с обработанных поверхностей в масло, а затем в камеру сгорания ДВС.

Выводы

Добавки неорганического происхождения, вводимые в виде ультрадисперсных порошков в моторное масло или твердые смазочные покрытия, наносимые на поршни ДВС, попадают вместе с моторным маслом в камеру сгорания двигателя и могут оказывать влияние на индикаторный КПД двигателя.

При выборе антифрикционных и противоизносных добавок неорганического происхождения, вводимых в моторное масло и твердые смазочные покрытия на поршнях, предпочтение следует отдавать добавкам, оказывающим каталитическое действие на процесс горения топлива.

Список литературы

1. Избирательный перенос в тяжело нагруженных узлах трения / Д. Н. Гаркунов [и др.]. — М.: Машиностроение, 1982. — 207 с.
2. Фукс Г. И. Полимолекулярная составляющая граничного смазочного слоя / Г. И. Фукс // Исследования в области поверхностных сил: сб. докл.: II конф. по поверхностным силам, апрель 1960 г. — М.: Наука, 1964.
3. Цветков Ю. Н. Соотношение потерь на трение, приходящихся на граничный и гидродинамический режимы смазки в двигателях внутреннего сгорания / Ю. Н. Цветков, Д. А. Крылов, А. А. Татулян // Двигателестроение. — 2010. — № 1.
4. Kuranov V. Unity and contrast of normal oxidizing friction and selective transfer / V. Kuranov, A. Vinogradov, S. Mironov // Zagadnienia eksploatacji maszyn. — 1998. — Zeszyt 2 (114). (Polska).
5. Sublimed C₆₀ films for tribology / B. Bhushan [et al.] // Applied Physics Letters. — 1993. — Vol. 62, № 25.
6. Полититанаты калия с волокнистой и чешуйчатой структурой. Синтез и применение / А. В. Гороховский [и др.] [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.ntsrf.info/upload/My/politkal2.pdf> (дата обращения: 26.04.2014).
7. Цветков Ю. Н. Влияние дисульфида молибдена в твердом смазочном покрытии, нанесенном на юбки поршней, на эффективные показатели дизеля / Ю. Н. Цветков, А. А. Сабуров, А. А. Татулян // Двигателестроение. — 2012. — № 2 (248).
8. Катализаторы горения для бензиновых и дизельных топлив / Д. В. Сердюк [и др.] // Автомобильная промышленность. — 2001. — № 5.
9. Погодаев Л. И. К механизму взаимодействия природных слоистых гидросиликатов с поверхностями трения / Л. И. Погодаев, И. А. Буяновский, Е. Ю. Крюков [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. — 2009. — № 5.
10. Jones R. L. Catalytic Combustion in Internal Combustion Engines: A Possible Explanation for the Woschni Effect in Thermally-Insulated Diesel Engines / R. L. Jones; Naval Research Laboratory. Report Number NRL/MR/6170/96-7897. — Washington, 1996. — 26 p.

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

И. А. Щенников,
инженер,
ОАО «ЗВЕЗДА»;

А. А. Иванченко,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВ С ДИЗЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ И ЗАДАЧИ ПО ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ

SHIP OPERATING PROBLEMS WITH THE NEW GENERATION OF DIESEL ENGINES AND OBJECTIVES FOR THEIR IMPROVEMENT

В статье предлагается обзор некоторых проблем, возникающих при эксплуатации современных судовых дизелей. Описывается влияние условий работы дизеля на его теплонапряженность и коэффициент избытка воздуха. Указывается на важность согласования работы турбокомпрессора и дизеля на различных режимах эксплуатации. Предлагается решать выявленные проблемы при помощи назначения повышенного запаса мощности судовых дизелей. Рассматриваются особенности выбора мощности для судовых дизелей.

The article provides an overview of some of the problems arising from the operation of modern marine diesel engines. Describes the effect of the conditions of the diesel engine at its thermal stress and excess air ratio. Indicates the importance to coordinate turbocharger and diesel at different operating conditions. It is proposed to address the issues identified by assigning high power reserve of marine diesel engines. The features of the power of choice for marine diesel engines.

Ключевые слова: судовой дизель, теплонапряженность и коэффициент избытка воздуха, согласование турбокомпрессора, запас мощности.

Key words: marine diesel engines, thermal stress and excess air ratio, to coordinate turbocharger, power reserve.

СЕГОДНЯ судостроение представляет собой международный рынок с очень развитой конкуренцией, в результате чего отечественные и зарубежные судовладельцы заказывают суда там, где они видят высокое качество продукции, удовлетворяющие их сроки строительства и стоимость судна.

В силу сложившихся исторических обстоятельств в России в настоящее время проектируются и строятся в основном небольшие гражданские суда типа река–море, ледоколы, буксиры и вспомогательные суда, а все остальное, как правило, заказывается на зарубежных верфях. Определенное лидерство в этой области завоевали ОАО КБ «Вымпел», «Морское инженерное бюро» и немногие другие отечественные фирмы, которыми в последние годы разработаны суда смешанного плавания (ССП) новых проектов (16510, 00352, 00101, 005RSD03, 006RSD05). На большинстве новых судов основные усовершенствования направлены на выполнение вводимых на дату их закладки новых требований международных конвенций, а также на устранение недостатков СПП, выявленных в процессе их эксплуатации. Они прежде всего касаются корпусных конструкций, судовых устройств, средств связи, навигационного оборудования, систем управления [1].

В части проектирования энергетической установки в большинстве случаев использованы как типовые решения, отработанные в последние десятилетия (суда пр. 16530 и др.), так и новые решения с двигателями нового поколения. Причем учитывая, что большинство выпускаемых отечественных судовых дизелей или уступают по своим характеристикам зарубежным аналогам, или имеют ограниченный потенциал конструктивной модернизации, обеспечивающий их конкурентоспособность лишь в течение ближайших 4–5 лет, на судах гражданской постройки все больше находят применение двигатели зарубежных производителей [3; 5].

Новые решения, как правило, обуславливались изменениями технических характеристик судов. Например, учитывая, что ССП круглый год интенсивно используются судовладельцами в закрытых морях и в прибрежных районах открытых морей, где глубины больше, чем в реке, у построенных по новым проектам судов увеличена осадка до нормативного ограничения по высоте надводного борта, а также грузоподъемность и скорость с 10 до 11–12 узлов [2].

Соответственно суда нового поколения в классе «Волго-Балт»/«Сормовский» типа «Карелия» (пр. 005RSD03) грузоподъемностью 3000 т с учетом указанных изменений грузоместимости и скорости оснащены двухвальными дизельными установками с двигателями повышенной оборотности марки 6M20 фирмы «MaK» (Германия, г. Кельн) повышенной мощностью (1020 кВт каждый) и полноповоротными винторулевыми колонками (ВПК) фирмы «Schottel» типа SRP-1010FP с винтами фиксированного шага в насадках. Привод винтов от главных дизелей осуществляется через механическую Z-образную передачу. В пр. 006RSD05 более крупного судна грузоподъемностью 4376/6638 т соответственно в условиях реки и моря установлены в качестве главных двигателей два дизеля повышенной оборотности марки 6L20 фирмы «Wartsila» мощностью 1120 кВт каждый и те же винторулевые колонки.

Применение ВПК позволило сократить длину машинного отделения примерно на 20 %, отказаться от ахтерпика и румпельного отделения, а также повысить управляемость в стесненных условиях плавания, сократить затраты на монтаж и предполагаемые затраты на техническое обслуживание и ремонт.

На судах типа «Русич» (пр. 00101) также установлены установки классической схемы с нереверсивными главными двигателями фирмы «Wartsila» марки 6L20 мощностью 1140 кВт каждый с приводом винтов через реверс-редукторы. Модернизация коснулась лишь системы водяного охлаждения главной энергетической установки, в результате которой ее охладители установлены за бортом в специальных ящиках, что позволило упростить систему — отказаться от некоторых насосов забортной воды и части трубопроводов.

Новые суда класса «Волго-Дон-макс» (пр. 00352) оснащены также классической одновальной главной энергетической установкой с нереверсивным дизелем марки 8VDS29/24 AL-2 повышенной оборотности фирмы «SKL» и реверс-редуктором типа WAF-1961 (Reintjes).

Строятся суда и по другим проектам. Так, только Волгоградский судостроительный завод за последние 10 лет сдавал в год 20 единиц. Это суда и река–море, «Траулеры» (пр. 502, 503) и другие суда [1].

Из изложенного следует, что основной наметившейся тенденцией проектирования энергетических установок новых проектов судов является использование в качестве главных двигателей нереверсивных высокофорсированных дизелей повышенной оборотности с последующим снижением частоты вращения вала с использованием для этой цели реверс-редукторов и винторулевых колонок. Для судов смешанного река–море плавания такое решение является новым и требует осмысления в эксплуатации и научной оценки.

К сожалению, большинство исследований, посвященных оценке экономичности, тепловой и механической напряженности дизелей и составу вредных выбросов с отработанными газами, современных высокофорсированных судовых дизелей выполнено применительно к стендовым условиям. В реальных эксплуатационных условиях эти вопросы рассматриваются в работах [4; 5; 8] и работах ГУМРФ (СПГУВК), выполненных с участием авторов.

Их анализ показывает, что эксплуатационные показатели дизельных установок на установленных режимах работы, как правило, не выходят за пределы рекомендованных производителями заградительных параметров. Этому способствует действующая в отрасли система технической эксплуатации флота, которой предусматривается переход на работу судна с пониженной технической скоростью в случае долговременного выхода эксплуатационных показателей дизеля за предельные значения. Техническая мощность в таком случае назначается исходя из условия не превышения показателями двигателя заградительных параметров [8].

Наиболее важными факторами, определяющими тепловую и механическую напряженность дизеля, вид кривой расхода топлива и выброса вредных веществ (в первую очередь NOx), являются коэффициент избытка воздуха и давление наддува на режиме номинальной мощности. Подбирая эти параметры, создатели судовых дизелей до настоящего времени добивались показателей работы и наиболее благоприятного характера изменения удельного расхода топлива в зависимости от числа оборотов, не уделяя должного внимания экологическим параметрам.

При повышении нагрузки на судовой дизель и соответствующем снижении числа оборотов по винтовой характеристике на режимах, близких к номинальному, превалирующее значение имеет увеличение коэффициента избытка воздуха (α) и индикаторного КПД, и соответственно повышение выброса окислов азота. При достижении $\alpha \approx 3$ индикаторный КПД достигает наибольшего значения, этот процесс сопровождается ростом давления в цилиндре, что ведет к увеличению механической напряженности. При дальнейшем снижении частоты вращения вследствие падения давления наддувочного воздуха и ухудшения условий смесеобразования начинается падение индикаторного КПД. В соответствии с характером изменения индикаторного КПД на этом участке кривая выброса NOx резко снижается, переходя в резко падающую кривую на малых нагрузках. Температура отработанных газов на таком режиме повышается, повышается и тепловая напряженность деталей ЦПГ.

Чем выше давление наддува, тем меньше относительное изменение коэффициента избытка воздуха при одном и том же числе оборотов. Выражение для изменения коэффициента избытка воздуха при работе на гребной винт указывает на быстрое увеличение α со снижением частоты вращения коленчатого вала. Рассматривая коэффициент избытка воздуха как один из параметров, характеризующих тепловую и механическую напряженность деталей двигателя и выбросы вредных веществ во время работы дизеля на винт, становится понятна, как важность рациональной настройки агрегата наддува на режим длительной работы дизеля, так и важность выбора типа и мощности дизельной установки.

Упомянутое в равной степени относится и к выбору винта, определяющему режимы работы дизеля. Рассмотрение режимов работы двигателя на винт регулируемого шага показывает, что с переходом на долевые режимы по нагрузочной характеристике значение коэффициента избытка воздуха поддерживается приблизительно таким же, как на номинальном режиме. Это происходит потому, что давление наддувочного воздуха, обеспечиваемое турбокомпрессором, при такой компоновке изменяется пропорционально среднему эффективному давлению газов в цилиндре дизеля. В результате с переходом на эти режимы не происходит повышения выбросов NOx, характерного для двигателей, работающих по винтовой характеристике.

Немаловажными причинами негативных изменений в протекании рабочего процесса и соответственно в составе отработанных газов является техническое состояние двигателей и утяжеление винтовых характеристик. А именно: погодные условия (мелководье, направление и сила ветра, состояние моря и т. д.), степень загрузки судна, обрастание корпуса, состояние гребного винта, вид вспомогательных операций (свободный ход, траление, буксировка).

Например, выход судна на мелководье оказывает существенное влияние на работу главного двигателя. Уменьшение глубины фарватера приводит к значительному возрастанию сопротивления корпуса судна и росту мощности, развиваемой главными дизелями с выходом на заградительную характеристику. Последнее влечет за собой перегрузку по тепловым напряжениям основных деталей двигателя. Указанные факторы необходимо учитывать в ходе реализации концепции

Морского инженерного бюро, направленной на строительство крупнотоннажных водоизмещающих судов для эксплуатации в условиях малых глубин.

Наглядным подтверждением этому является рис. 1, где представлены зависимости сопротивления движению судна от рассмотренных факторов.

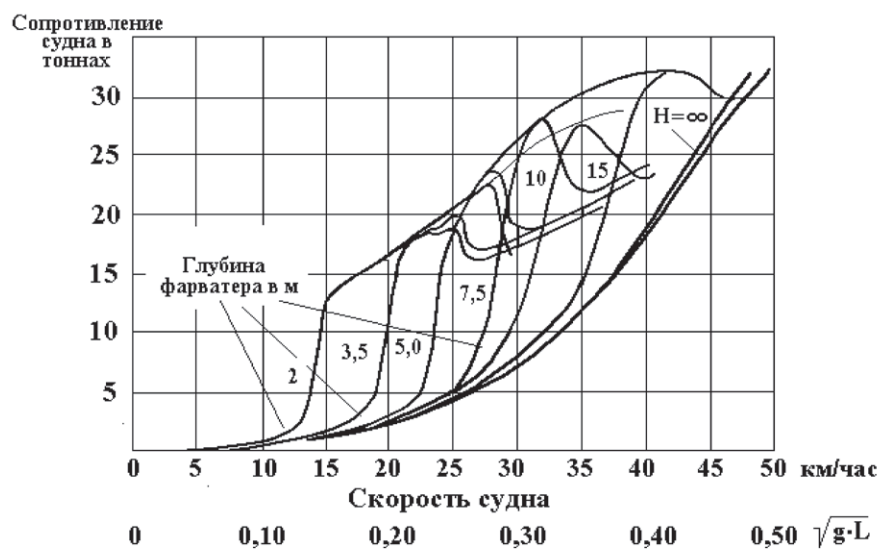


Рис. 1. Влияние глубины фарватера на сопротивление движению судна

Увеличение сопротивления движению судна сопровождается падением скорости хода, а выход дизеля на заградительную характеристику требует уменьшения частоты вращения его вала, что дополнительно снижает скорость хода судна. Если не воздействовать на ГД, то часовой расход топлива может несколько снизиться из-за падения частоты вращения вала и ограничения максимального хода рейки топливных насосов. Если стремиться восстановить прежнюю скорость хода судна, то часовой расход топлива и теплонапряженность деталей ЦПГ дизеля могут существенно возрасти.

Это означает, что возникает задача выбора компромиссного сочетания скорости хода судна и расхода топлива в границах допустимой теплонапряженности дизеля. Наглядным подтверждением указанному является рис. 2, где представлены зависимости сопротивления движению судна и параметров работы двигателя от рассмотренных факторов.

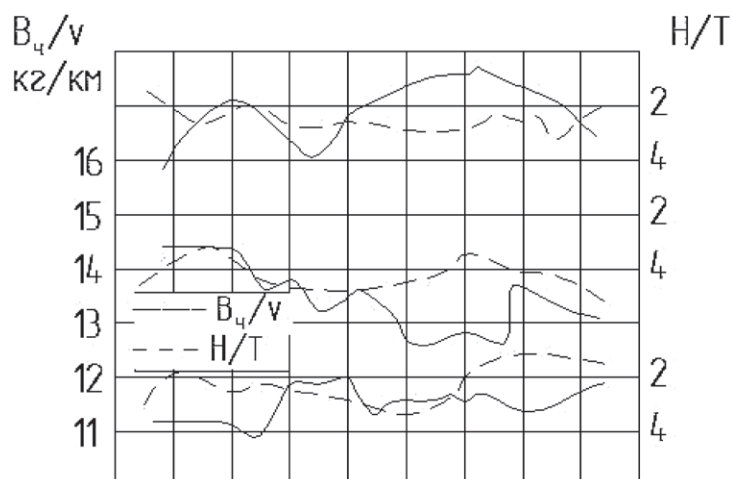


Рис. 2. Кривые режимов нагружения дизеля при движении судна на мелководье:

а — $n = 980 \text{ мин}^{-1}$; б — $n = 910 \text{ мин}^{-1}$; в — $n = 800 \text{ мин}^{-1}$

К числу других факторов, являющихся причинами изменений в протекании рабочего процесса и тепловой напряженности судового дизеля, относятся меняющиеся условия эксплуатации, обрастание корпуса судна и движение судна при волнении, что вызывает утяжеление винтовых характеристик. Влияние рассматриваемых факторов наглядно демонстрирует рис. 3.

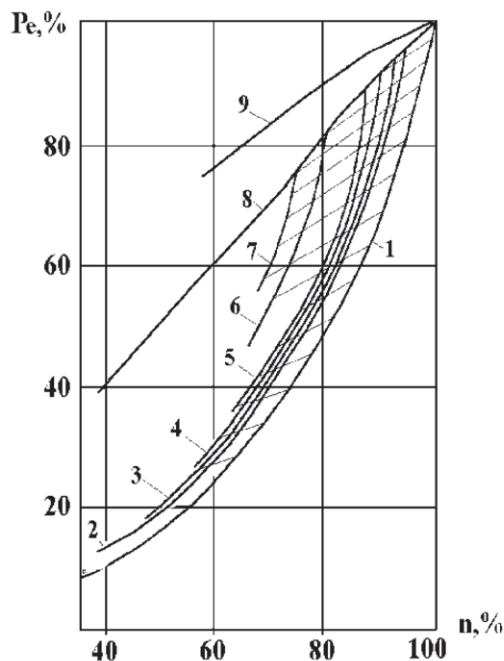


Рис. 3. Влияние условий эксплуатации на режимы работы двигателя:

- 1 — движение груженого судна при свободном ходе на тихой воде; 2 — движение груженого судна;
3 — при обрастании судна через 60 сут после докования; 4 — при обрастании судна через 175 сут после докования; 5 — движение судна при волнении;
6 — буксировка трала; 7 — буксировка судна; 8 — ограничительная характеристика;
9 — внешняя характеристика двигателя; // — поле реальных режимов работы судовых дизелей

При работе современного высокофорсированного дизеля по характеристикам согласно рис. 3 он не может развивать полного расчетного числа оборотов n , а только меньшее число оборотов n_x , зависящее от свойств внешней характеристики дизеля, величины утяжеления винтовой характеристики судна, свойств корпуса судна и характеристик гребного винта, то есть совместной работы комплекса «корпус–винт–дизель».

С увеличением среднего эффективного давления двигателя свыше 2,4 МПа границы диапазона допустимых режимов работы современных дизелей определяются уже не границами помпажа турбокомпрессора, как ранее у двигателей со средним эффективным давлением до 1,0–1,4 МПа, а температурой неохлаждаемых узлов и деталей двигателя. При этом эти границы смещаются в область режимов, близких к номинальным, когда давление наддува, создаваемое турбокомпрессором, изменяется прямо пропорционально мощности. На долевых режимах винтовой характеристики эта пропорциональность не выдерживается, что приводит к снижению коэффициента избытка воздуха, сопровождаемому признаками перегрузки двигателя с соответствующим повышением температуры неохлаждаемых деталей двигателя. Причем с увеличением среднего эффективного давления на номинальном режиме работы дизеля на долевых режимах условия работы турбокомпрессора ухудшаются.

В обширных обзорах перспектив развития судовых дизелей эти вопросы, как правило, не рассматриваются по экономическим причинам. Анализ же технических мероприятий по расширению диапазона допустимых режимов высокофорсированных дизелей приводит к ухудшению удельного расхода топлива.

Стремление проектанта максимально удовлетворить желание судовладельцев и обеспечить длительную, непрерывную и надежную работу судового дизеля благодаря его эксплуатации в более льготном режиме с меньшей тепловой и механической напряженностью, а также желание обеспечить приемлемые значения эксплуатационного расхода топлива и выбросов вредных веществ приводит к необходимости увеличения запаса мощности главных двигателей либо выбору несколько облегченного винта на этапе проектирования судна.

Номинальная потребная мощность судового дизеля должна определяться на основании результатов расчета гидродинамического комплекса судна с учетом глубин в предполагаемом бассейне эксплуатации, принятых обводов корпуса и винта.

Рассчитанная потребная мощность должна согласовываться с классификационным обществом и должна быть не ниже рассчитанной минимальной мощности главных двигателей в соответствии с его Правилами. Дополнительно в предпроектных исследованиях необходимо оценить, а в период ходовых испытаний судна предоставить доказательства его представителю того, что [7]:

— пропульсивная установка судна будет обеспечивать возможность работы на задний ход для необходимой маневренности судна при всех нормальных условиях эксплуатации. Причем согласно правилам она должна обеспечивать при установившемся свободном заднем ходе судна не менее 70 % расчетной частоты вращения механизмов переднего хода в течение не менее 30 мин, подразумевая под расчетной частотой вращения механизмов переднего хода частоту вращения, соответствующую максимальной длительной мощности главных механизмов;

— мощность заднего хода достаточна для торможения судна, идущего полным передним ходом, в пределах приемлемого расстояния;

— в дизельных установках с реверсивными передачами или ВРШ, а также в гребных электрических установках работа на задний ход не будет приводить к перегрузке главных механизмов сверх допустимых значений;

— дизельная установка с одним главным двигателем внутреннего сгорания в случае выхода из строя одного или всех турбонагнетателей будет обеспечивать скорость судна, при которой сохраняется управляемость судном. При этом главный двигатель должен обеспечить не менее 10 % от номинальной мощности.

Таким образом, основываясь на указанных выше требованиях и рекомендациях при проектировании дизельной пропульсивной установки важно выбрать не какой-нибудь двигатель, а такой, который в наибольшей мере подходит судну по технико-экономическим и эксплуатационным показателям.

Данная задача не относится к числу тривиальных, поскольку приходится рассматривать несколько вариантов установки и выбирать наилучший из них. Например, рассматривают и сопоставляют пропульсивную установку с прямой передачей и с механической. Установки сравнивают по совокупности показателей. Основными среди них являются энергетические, массогабаритные, экономические (стоимость оборудования и эксплуатационные расходы на топливо) и экологические.

В результате гидродинамического расчета элементов гребных винтов при постоянной заданной скорости движения судна получают соотношения между требуемой частотой вращения винта n_2 , диаметром винта D_B и мощностью N_p , подведенной к нему.

Очевидно, наиболее рационально использовать гребной винт, имеющий наибольший пропульсивный КПД — η_p , который при прочих равных условиях тем выше, чем больше диаметр винта. Так поступают, как правило, при проектировании ПК на базе среднеоборотных или высокооборотных двигателей с редукторной передачей [9, с. 88–95; 10].

Потребная мощность, определенная в результате гидродинамического расчета, должна корректироваться с учетом условий ее объявления для предполагаемых главных двигателей, атмосферных условий в машинном отделении, надбавки на ухудшение технического состояния, потерь в передаче, в валопроводе, на привод вспомогательных механизмов. Если в гидродинамическом расчете и при объявлении мощности не учтен запас мощности на мореходные качества,

то рассчитанная потребная мощность дополнительно подвергается коррекции с учетом рекомендаций изготовителя двигателя.

Производители главных дизелей повышенной оборотности рекомендуют принимать запас мощности в пределах $N_{\text{ерасч}} = 0,85 \div 0,90) N_{\text{ен}}$ в зависимости от типа проектируемого судна при частоте вращения вала n_n . При объявлении мощности главного двигателя по ISO 3046 заводы-изготовители дизелей также рекомендуют учитывать прибавку на привод вспомогательных механизмов и изменение технического состояния.

Иногда гидродинамический расчет гребных винтов производят при $N_{\text{ен}}$ и n_n , а запас мощности — путем некоторого увеличения (по сравнению с расчетным) сопротивления воды движению судна на номинальном режиме.

Производители высокооборотных дизелей MAN, MTU и других этот запас, как правило, прячут в объявляемую мощность в зависимости от предполагаемых условий его эксплуатации на том или ином типе судна через так называемые рейтинги.

Необходимо также иметь в виду, что в технических условиях на поставку дизелей всех производителей указана их мощность при работе в нормальных стандартных по ISO 3046 атмосферных условиях, в то время как на судах в машинных помещениях температура достигает 40–45 °С, что снижает мощность дизеля на 6–12 %.

Для каждого альтернативного двигателя должны рассматриваться и анализироваться его характеристики, накладываться на них расчетная винтовая характеристика судна.

Подробный анализ экспериментальных данных по ходовым испытаниям согласно рис. 4 показывает, что двигатели одного типа, устанавливаемые на серийные суда, имеют индивидуальные особенности. При одинаковой установке рейки топливных насосов h и незначительной разнице температур наружного воздуха t_o и охлаждающей воды на входе в дизель $t_{\text{вх}}$ имеются значительные расхождения в соответствующих величинах давления наддува и степени повышения давления, замеренных с одинаковой погрешностью. Происходит как бы «дрейф» точки исходного режима. Влияние условий эксплуатации на него, несмотря на значительное число работ в данной области, спрогнозировать без разработки специальных математических моделей анализа пока довольно сложно.

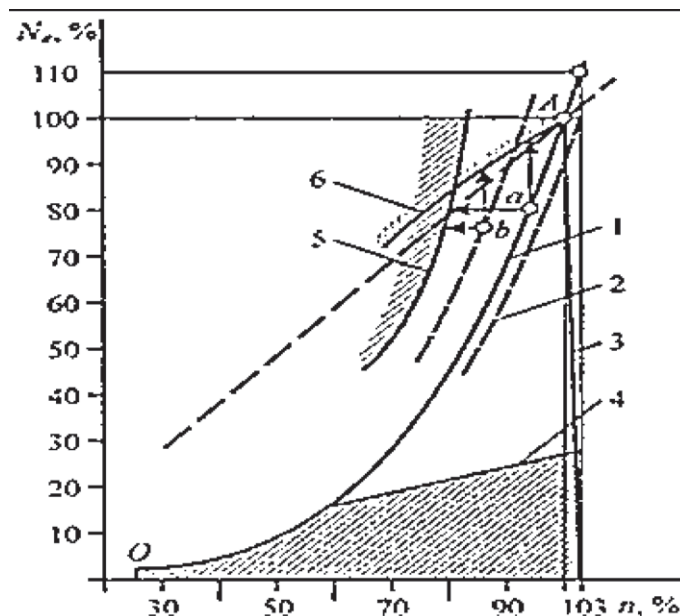


Рис. 4. Зона эксплуатационных режимов главного судового дизеля:

- 1 — стеновая винтовая характеристика; 2 — проектно-облегченная винтовая характеристика;
- 3 — регуляторная характеристика;
- 4 — граница минимально устойчивой частоты вращения вала дизеля;
- 5 — граница устойчивой работы турбокомпрессора;
- 6 — внешняя характеристика

Рассмотрение представленных данных подчеркивает важность правильного выбора мощности главного двигателя. Это решение должно учитывать возможные эксплуатационные отклонения мощности, которые неизбежны в процессе эксплуатации:

— необходимый построечный резерв мощности дизеля при сдаче судна (при обеспечении контрактной скорости);

— допустимая степень колебания мощности при отклонении атмосферных условий от стандартных или стендовых;

— допустимая степень «утяжеления» винтовой характеристики в эксплуатации в связи с обрастанием корпуса судна и винта, износом и потерей покрытия, после чего требуется обязательное докование.

Очевидно, что номинальный режим, устанавливаемый заводом-изготовителем без строго обусловленных предельных значений режимных показателей, не может быть использован в качестве сравнительного эталона или исходного уровня для сопоставления эффективности, экономичности и напряженности различных двигателей.

Список литературы

1. Проектирование гражданских судов российскими проектными организациями: состояние, проблемы нормативно-правового обеспечения и пути их решения: стенограмма заседания круглого стола, 25 февраля 2011 г. Ресурсы Интернета.

2. *Егоров Г. Н.* Обоснование облика нового поколения сухогрузных судов смешанного плавания / Г. Н. Егоров // на XII Международная конференция по гражданскому судостроению, морской технике освоения океана и шельфа, судоремонту и производству судового оборудования: тез. докл., Россия, Санкт-Петербург, 25–26 сентября 2012 г.

3. Отчет о работе правительственной комиссии по транспорту и связи. Ресурсы Интернета.

4. *Румб В. К.* Судовая пропульсивная установка с двигателем внутреннего сгорания: учеб. пособие / В. К. Румб. — СПб.: СПбГМТУ, 2012. — 316 с.

5. Суворов П. С. Управление режимами работы главных судовых дизелей / П. С. Суворов. — Одесса: ЛАТСТАР, 2000. — 238 с.

6. Мясников Ю. Н. Информационные технологии в пропульсивном комплексе морского судна: моногр. / Ю. Н. Мясников, А. А. Иванченко, А. М. Никитин. — СПб.: ГУМРФ, 2013. — 328 с.

7. Правила МРС. — СПб., 2008.

8. *Иванченко А. А.* Охрана воздушного бассейна при проектировании и эксплуатации судовых энергетических установок: моногр. / А. А. Иванченко, А. А. Иванченко. — СПб.: Изд-во Гос. ун-та морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, 2014. — 327 с.

9. *Даниловский А. Г.* Критерии для согласованной оптимизации судовых энергетических установок, систем и оборудования / А. Г. Даниловский, Д. С. Иванов, Г. А. Архипов // Совершенствование конструкций судовых систем: сб. науч. тр. / ЛКИ. — Л., 1987. — С. 88–95.

10. *Иванченко А. А.* Основы проектирования нестандартных энергетических установок новых проектов судов / А. А. Иванченко, И. А. Боровикова, В. И. Резниченко. — СПб.: СПГУВК, 2010. — 36 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА В СРЕДЕ MATLAB ДЛЯ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЯ ИСКАЖЕНИЯ СИНУСОИДЫ НАПРЯЖЕНИЯ СУДОВОЙ СИЛОВОЙ СЕТИ ПИТАНИЯ

USING OF DISCRETE WAVELET TRANSFORM IN MATLAB FOR CALCULATION OF SINE DISTORTION FACTOR OF SHIP'S ELECTRICAL POWER PLANT BUSBAR

Рассмотрены принципы дискретного вейвлет-анализа в среде программирования MatLab. Произведен расчет коэффициента искажения синусоиды с помощью дискретного вейвлет-анализа, проведено сравнение данного коэффициента с общепринятым коэффициентом несинусоидальности, показана их корреляция друг с другом. Показано преимущество использования дискретного вейвлет-анализа.

Principles of discrete wavelet transform are considered in MatLab system. New coefficient of sine distortion was computed. This coefficient was compared with usual anharmonicity factor, there correlation is shown. Advantage of using the discrete wavelet transform is shown.

Ключевые слова: дискретный вейвлет-анализ, коэффициент несинусоидальности, преобразование Фурье, MatLab 7.

Key words: discrete wavelet transform, anharmonicity factor, Fourier transform, MatLab 7.

СОВРЕМЕННЫЕ судовые электроэнергетические системы содержат множество нелинейных приемников электроэнергии. В первую очередь это силовая полупроводниковая преобразовательная техника и асинхронные электродвигатели. Нелинейные приемники создают электромагнитные помехи и ухудшают качество электрической энергии (прежде всего искажают синусоиду напряжения судовой силовой сети питания). Электромагнитные помехи могут быть причиной сбоев в работе цифровых систем управления на судне. Низкое качество электроэнергии увеличивает потери в электрических машинах. Для обеспечения контроля параметров качества электрической энергии целесообразно иметь методику определения степени влияния конкретной помехи на форму напряжения судовой силовой сети питания с учетом времени возникновения и существования помехи, а также выявления возможного источника помехи.

В качестве средства контроля качества электрической энергии в судовых условиях могут использоваться цифровые осциллографы, оснащенные соответствующим программным обеспечением. Современные осциллографы используют встроенный аппарат гармонического анализа на основе рядов Фурье.

Мгновенные значения напряжения в судовой силовой сети питания являются периодической функцией, которая в идеале должна быть синусоидой. Однако эта функция реально может отличаться от синусоиды. Кроме того, возможны различные отклонения от синусоиды на разных периодах, что обусловлено динамической нагрузкой судовой сети и коммутациями в ней. Анализ на основе рядов Фурье позволяет выявить высшие гармоники в кривой напряжения, но предполагает, что эти гармоники одинаковы на всех периодах. На практике это не соответствует действительности.

В существующей электротехнической практике наличие высших гармоник оценивается с помощью коэффициента несинусоидальности [1]. Согласно ГОСТ Р 54149-2010 коэффициент несинусоидальности должен определяться с периодичностью 0,2 с с усреднением на интервале 10 мин [1]. Для анализа качества электроэнергии современных судовых электростанций данные временные показатели слишком большие. Разложение в ряд Фурье требует конечное число отсчетов исследуемого сигнала, то есть задержка анализа оказывается равной нескольким периодам несущей частоты. При наличии в исследуемом сигнале ступенчатых изменений спектр Фурье выдает множество высших гармоник малой амплитуды, что затрудняет распознавание особенностей сигнала [2]. Для упрощения и ускорения расчетов приходится уменьшать число гармоник в спектре, что заметно ухудшает точность восстановления сигнала при обратном преобразовании. Кроме того, представляя сигнал в виде суммы синусоид, мы так или иначе идеализируем его. Как видим, разложение в ряд Фурье не позволяет с высокой точностью определить как время возникновения помехи, так и текущее значение коэффициента несинусоидальности.

Перечисленные выше особенности изменения мгновенных значений напряжения судовой силовой сети питания могут быть учтены с помощью вейвлет-анализа [5]. Базисные функции (вейвлеты), на которых основывается вейвлет-анализ, позволяют более точно проанализировать форму питающего напряжения и учесть особенности его изменения во времени.

В среде программирования MatLab реализована функция дискретного вейвлет-анализа [3]:

$$C(j, k) = \int_{-\infty}^{\infty} a_0^{-\frac{j}{2}} \varphi(a_0^{-j} t - k) s(t) dt. \quad (1)$$

Здесь $C(j, k)$ — детализирующие коэффициенты для вейвлет-декомпозиции уровня k ; j — параметр масштаба; $a_0^{-\frac{j}{2}} \varphi(a_0^{-j} t - k)$ — вейвлет-функция, зависящая от вида вейвлета; a является значением масштаба; k определяет смещение во времени, при этом $a = 2^j$. Вычисление коэффициентов дискретного вейвлет-преобразования требует гораздо меньше затрат, чем вычисление коэффициентов непрерывного вейвлет-преобразования [3].

Дискретный вейвлет-анализ отличается от непрерывного тем, что декомпозиция сигнала производится методом низкочастотной фильтрации. Исследуемый сигнал пропускается через ФНЧ с высоким значением частоты среза, где отсеивается высокочастотная помеха (это первый уровень декомпозиции). С каждым уровнем декомпозиции частота среза фильтра уменьшается. В итоге получается несколько так называемых деталей (то есть сигналы, отфильтрованные ФНЧ, высокочастотные компоненты) и одна аппроксимация. Число деталей зависит от числа уровней вейвлет-преобразования. Сложив все детали и аппроксимацию, мы получим исследуемый сигнал.

Возможности дискретного вейвлет-анализа в MatLab позволяют выявить неискаженную несущую синусоиду и рассчитать степень искажений, вносимых высокочастотными деталями, то есть можно установить новый коэффициент, который может стать альтернативой коэффициенту несинусоидальности. Рассмотрим это на следующем примере.

Смоделируем сигнал, представляющий собой сумму трех сигналов с частотами 50, 150 и 250 Гц соответственно. Сигнал с частотой 150 Гц имеет линейно нарастающую от 0 до 4 амплитуду (t изменяется от 0 до 0,8 с с шагом 0,0002 с):

$$y = 10 \cdot \sin(2\pi \cdot 50 \cdot t) + 5 \cdot t \cdot \sin(2\pi \cdot 150 \cdot t) + 0,5 \cdot \sin(2\pi \cdot 250 \cdot t). \quad (2)$$

На рис. 1 представлен график изменения второй составляющей. На рис. 2 изображен график сигнала y .

Для начала проанализируем данный сигнал с помощью быстрого преобразования Фурье. В соответствии с требованиями ГОСТ Р 54149-2010 будем производить анализ на каждых 0,2 с, то есть на десяти периодах, но без усреднения на 10 мин. Наш сигнал состоит из 40 периодов, то есть мы получим четыре спектра. Они представлены на рис. 3. Как видим, быстрое преобразование Фурье определяет, что амплитуда третьей гармоники нарастает со временем.

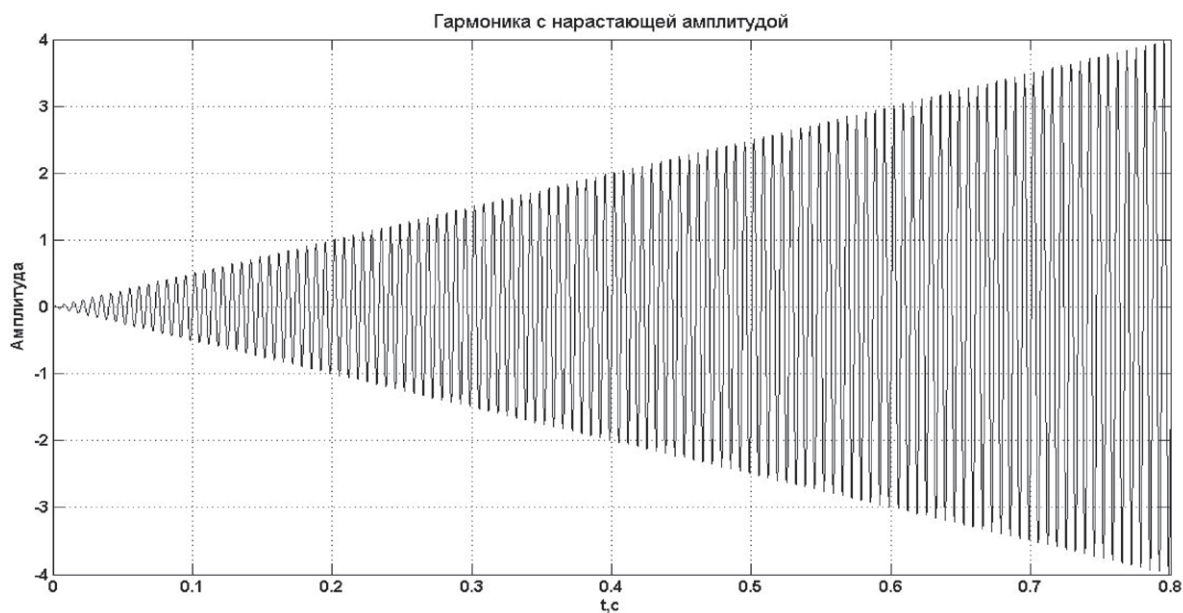


Рис. 1. Составляющая сигнала 150 Гц

Теперь проанализируем тот же сигнал с помощью вейвлет-преобразования. Используем вейвлет “dmeu” на пятом уровне разложения. На рис. 4 представлен результат анализа. Детали d1–d5 — это отфильтрованные высокочастотные составляющие, аппроксимация a5 — это очищенная от помех основная синусоида (детали d1–d2 на самом деле имеют почти нулевую амплитуду, на данном рисунке на оси ординат плохо видны множители на 10^{-4}).

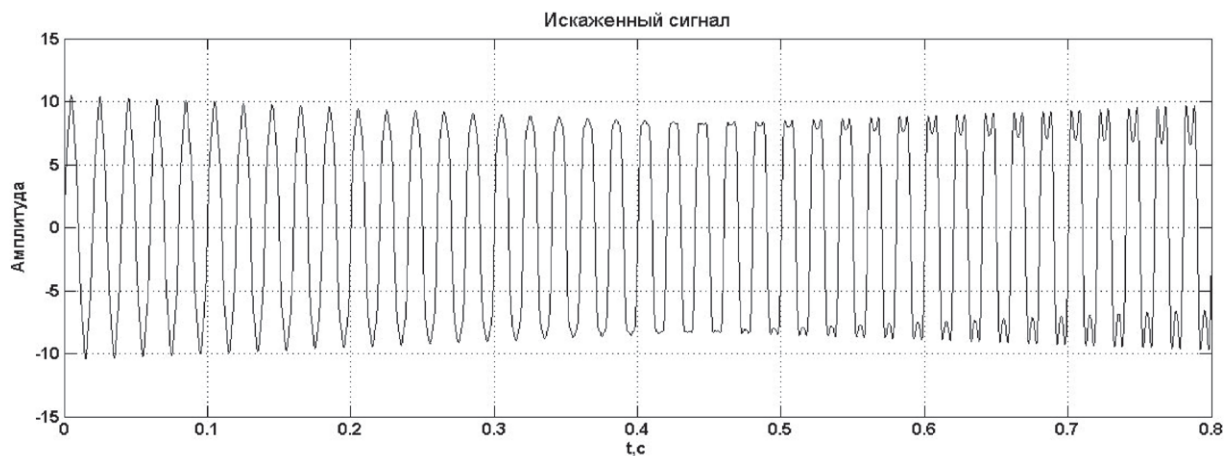


Рис. 2. Исследуемый сигнал

Рассчитаем теперь коэффициент несинусоидальности с помощью быстрого преобразования Фурье и коэффициент искажения с помощью вейвлет-анализа. Коэффициент искажений будем рассчитывать следующим образом. На каждом периоде основного сигнала, то есть на 0,02 с будем находить среднеквадратичное значение каждой детали и аппроксимации (с разрешением, равным 0,0002 с). Таким образом, коэффициент искажения будет определяться по следующей формуле:

$$Kd(n) = \frac{\sqrt[2]{(d5(n)^2 + d4(n)^2 + d3(n)^2 + d2(n)^2 + d1(n)^2)}}{a5(n)}. \quad (3)$$

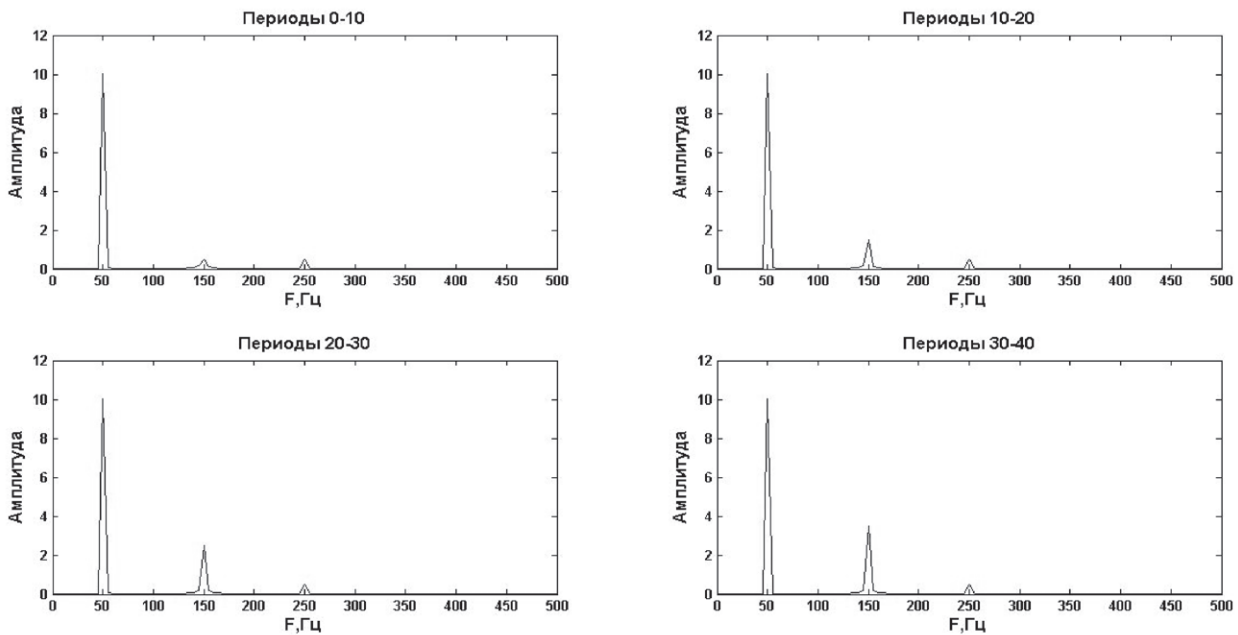


Рис. 3. Спектры для каждых 10 периодов

Здесь d_5-d_1 — среднеквадратичные значения для каждого периода n , a_5 — среднеквадратичное значение аппроксимации то есть чистой основной синусоиды, за каждый период n . Соответственно коэффициент искажения определяется с точностью 0,02 с, то есть для каждого периода. Построим графики изменения коэффициентов на одной оси координат.

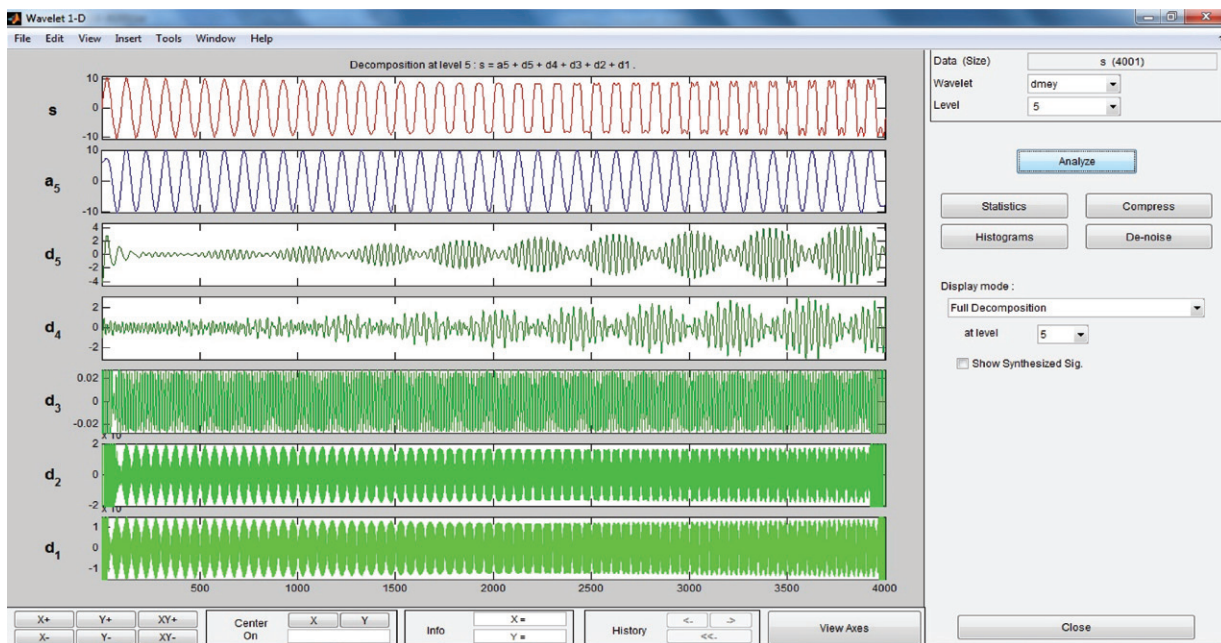


Рис. 4. Вейвлет-спектр исследуемого сигнала

Коэффициент искажения определяется с точностью до одного периода, а коэффициент несинусоидальности лишь на 10 периодах. Соответственно при контроле несинусоидальности в режиме реального времени оператор скорее всего увидит картину, похожую на рис. 5. Здесь в момент времени, например между 0,1 и 0,2 с, преобразование Фурье не дает превышения допустимого зна-

чения несинусоидальности (10 %), в то время как вейвлет-анализ уже дает результат более 10 %. На рис. 6 можно проследить, что характер изменения во времени коэффициента несинусоидальности соответствует коэффициенту искажения, то есть оба они определяют то, что со временем искажения становится больше.

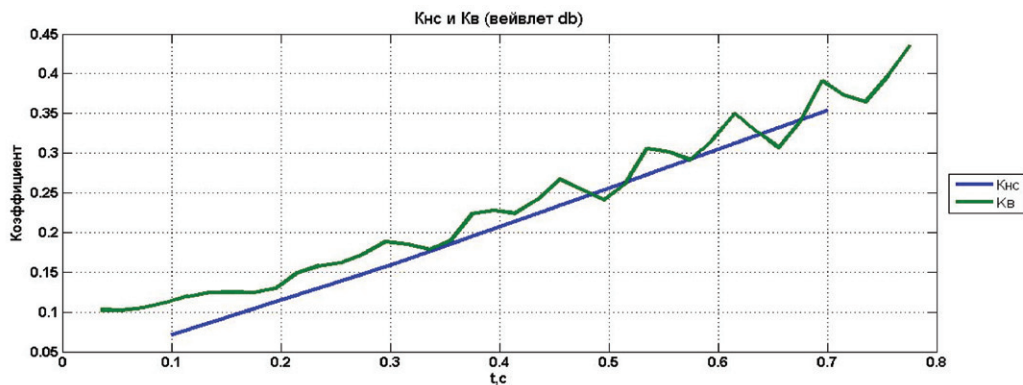


Рис. 5. Коэффициент несинусоидальности и коэффициент искажения

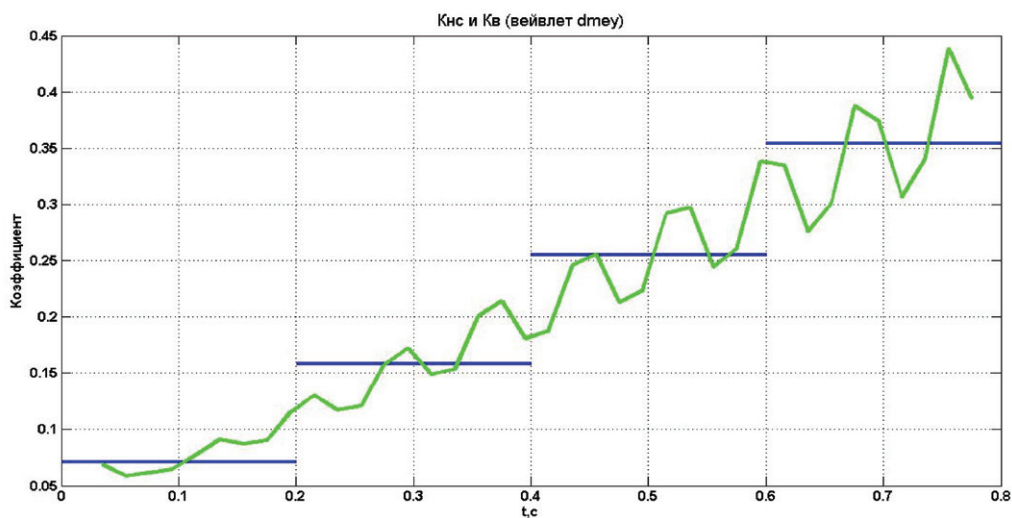


Рис. 6. Коэффициент несинусоидальности и коэффициент искажения

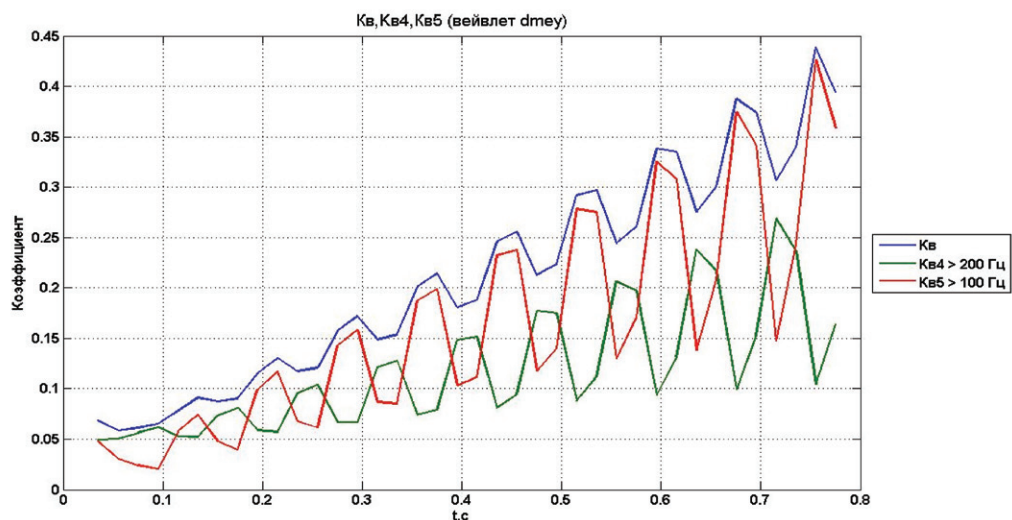


Рис. 7. Общий коэффициент искажения и коэффициенты для 5-й и 4-й деталей

Также возможно построить зависимости для каждой из деталей, чтобы проследить ее влияние на сигнал (рис. 7). На графике отсутствуют детали 1–3 ввиду своих малых амплитуд и практически нулевого влияния. Таким образом, можно отследить во времени изменение влияния каждой компоненты сигнала.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы. Преобразование Фурье имеет один серьезный недостаток — низкое разрешение по времени (см. ГОСТ 54149-2010). Предложенный в статье вариант вейвлет-анализа дает хорошее разрешение по времени (с точностью до одного периода несущего сигнала). При этом наблюдается одинаковый характер изменения коэффициентов искажений, полученных как с помощью разложения в ряды Фурье, так и с помощью вейвлет-анализа. Восстановление сигнала с помощью обратного дискретного вейвлет-преобразования может давать минимальную ошибку, которую можно не учитывать. В зависимости от сигнала и типа используемого вейвлета ошибка восстановления может достигать значения 10^{-12} [3]. В то время как ошибка при использовании обратного преобразования Фурье составляет примерно 0,1 [4]. На данный момент вейвлет-анализ не нашел практического применения для анализа качества электроэнергии. Почти все существующие приборы ориентированы на усреднения, установленные ГОСТом [4]. В них, как правило, используется алгоритм быстрого преобразования Фурье. Но приведенные в настоящей статье результаты свидетельствуют, что вполне возможна реализация программы для персонального компьютера или ноутбука, в которой с помощью дискретного вейвлет-анализа будет производиться обработка электрических сигналов, полученных с помощью осциллографа и представленных в табличной форме. Возможности среды MatLab позволяют написать *.exe файл такой программы. При этом анализ электрических сигналов можно выполнять в режиме реального времени.

Список литературы

1. ГОСТ 54149-2010. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Аббакумов А. А. Разработка методики и алгоритмов идентификации отклонений от нормативов параметров качества электроэнергии в системах электроснабжения: автореф. / А. А. Аббакумов. — Саранск, 2005.
3. Дьяконов В. П. MatLab 7.0. Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров / В. П. Дьяконов.
4. Анализ возможных способов контроля коэффициента несинусоидальности напряжения судовой силовой сети питания: отчет о НИР / Государственная морская академия имени адмирала С. О. Макарова. — СПб., 2007.
5. Мищенко В. Ф. Перспективы применения вейвлет-преобразования для определения параметров качества электрической энергии СЭС / В. Ф. Мищенко, И. В. Сафронов // Эксплуатация морского транспорта. — СПб., 2013.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ НА СУДАХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ФЛОТА

ANALYSIS OF POSSIBILITY AND EXPEDIENCY OF USING OF ELECTRICAL PROPULSION PLANTS ON SHIPS FOR AUXILIARY FLEET

В статье приведены результаты сравнительного анализа технико-экономических и технико-эксплуатационных характеристик вариантов электроэнергетической установки (традиционной на базе главного дизеля и единой электроэнергетической системы) с системой электродвижения. Перечислены основные преимущества и недостатки вариантов для вспомогательного флота на примере лоцмейстерского судна. Приведены показатели экономичности, массы и габаритных размеров, стоимостные показатели. Сделан вывод о целесообразности применения систем электродвижения на судах вспомогательного флота.

The paper presents results of comprehensive analysis of technical-economical and technical-operational stats of electrical power installment's variants (traditional one based on main diesel engine and integrated electrical power system) with electrical propulsion plant. Main advantages and disadvantages of both variants are listed in relation to auxiliary fleet on the example of buoy tender. Indexes of efficiency, cost, mass and overall dimensions are specified. Conclude regarding expediency of using of electrical propulsion plants on ships for auxiliary fleet is made.

Ключевые слова: система электродвижения, единая электроэнергетическая система, традиционная электроэнергетическая установка, вспомогательный флот, главные размерения судна.

Key words: electric propulsion plant, integrated electric power system, traditional electric power installation, auxiliary fleet, ship main dimensions.

В ПОСЛЕДНЕЕ десятилетие системы электродвижения (СЭД) находят все более широкое применение на строящихся в России и за рубежом судах различного назначения [1–3]. По сравнению с традиционными пропульсивными комплексами на базе дизельных двигателей с прямой передачей вращающего момента на винт СЭД имеют ряд достоинств, среди которых следует выделить:

- повышение маневренных характеристик судна;
- снижение эксплуатационных расходов;
- снижение сроков ремонтных работ;
- снижение вредных выбросов в атмосферу;
- повышение КПД энергетической установки в долевых режимах;
- возможность наиболее рационального размещения оборудования на судне;
- повышение надежности электроэнергетической установки (ЭЭУ).

Следует отметить, что по массогабаритным и стоимостным показателям единые электроэнергетические системы (ЕЭЭС) с СЭД существенно уступают традиционным установкам. В связи с этим важным вопросом при выборе типа ЭЭУ является технико-экономический анализ возможности применения СЭД на конкретном судне, в частности на судах вспомогательного флота, характеризующихся ограниченными главными размерениями [4].

Ниже приведен сравнительный анализ традиционной ЭЭУ и ЕЭЭС с СЭД применительно к лоцмейстерскому судну.

Традиционная ЭЭУ представлена на рис. 1. В состав ЭЭУ входят судовая электроэнергетическая система (СЭЭС) и главная энергетическая установка (ГлЭУ) [5].

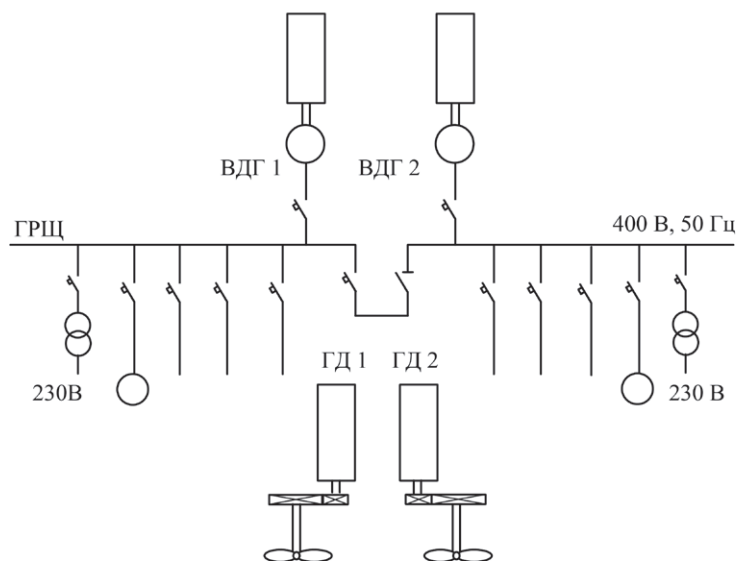


Рис. 1. Структурная схема традиционной ЭЭУ

СЭЭС состоит из двух судовых электростанций (СЭС): вспомогательной и аварийной.

В состав вспомогательной СЭС входят вспомогательные дизель-генераторы (ВДГ) и главный распределительный щит (ГРЩ). ЭЭС выполнена на напряжение 400 В. В состав аварийной — аварийный распределительный щит (АРЩ) и аварийный дизель-генератор (АДГ).

ГлЭУ состоит из двух среднеоборотных главных дизелей (ГД) и двух понижающих редукторов, соединенных с гребным валопроводом и винтом фиксированного шага (ВФШ) [6].

Расположение оборудования традиционной ЭЭУ представлено на рис. 2.

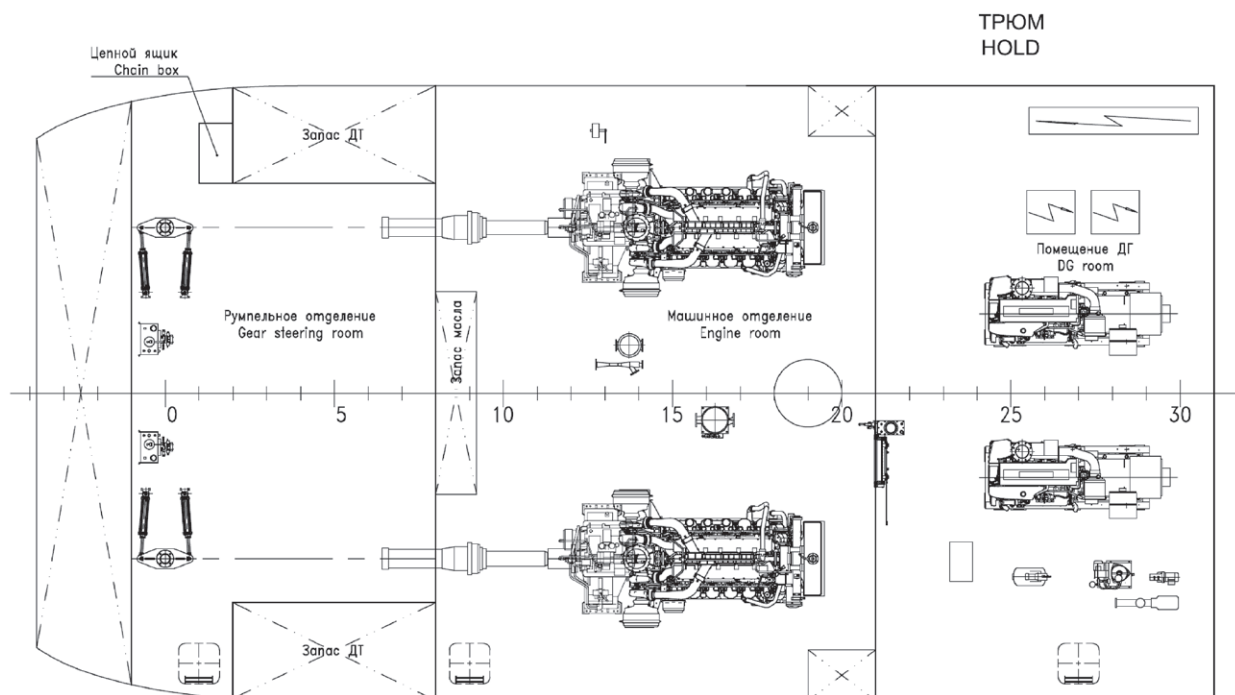


Рис. 2. Расположение оборудования традиционной ЭЭУ

Структурная схема ЭЭУ на базе ЕЭЭС с СЭД представлена на рис. 3.

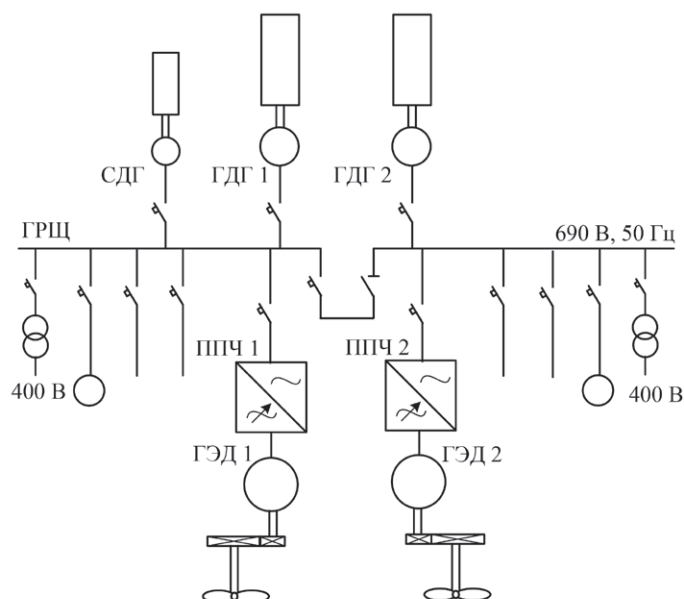


Рис. 3. Структурная схема ЕЭЭС с СЭД

ЕЭЭС состоит из двух судовых электростанций (СЭС): главной и аварийной.

В состав главной СЭС входят главные дизель-генераторы (ГДГ), стояночный ДГ, главный распределительный щит (ГРЩ) напряжением 690 В.

В состав СЭД входят два гребных электродвигателя (ГЭД), получающих питание от полупроводниковых преобразователей частоты (ППЧ). Гребные электродвигатели (ГЭД) посредством понижающих редукторов приводят в движение ВФШ.

ППЧ выполнен на базе активного выпрямителя и автономного инвертора. Особенность рассматриваемой СЭД заключается в том, что подключение гребного электропривода к ГРЩ осуществляется без применения силовых пропульсивных трансформаторов [7].

В качестве ГЭД возможно использовать среднеоборотный электродвигатель асинхронного или синхронного типа на постоянных магнитах с воздушно-водяным охлаждением.

Расположение оборудования ЕЭЭС с СЭД представлено на рис. 4.

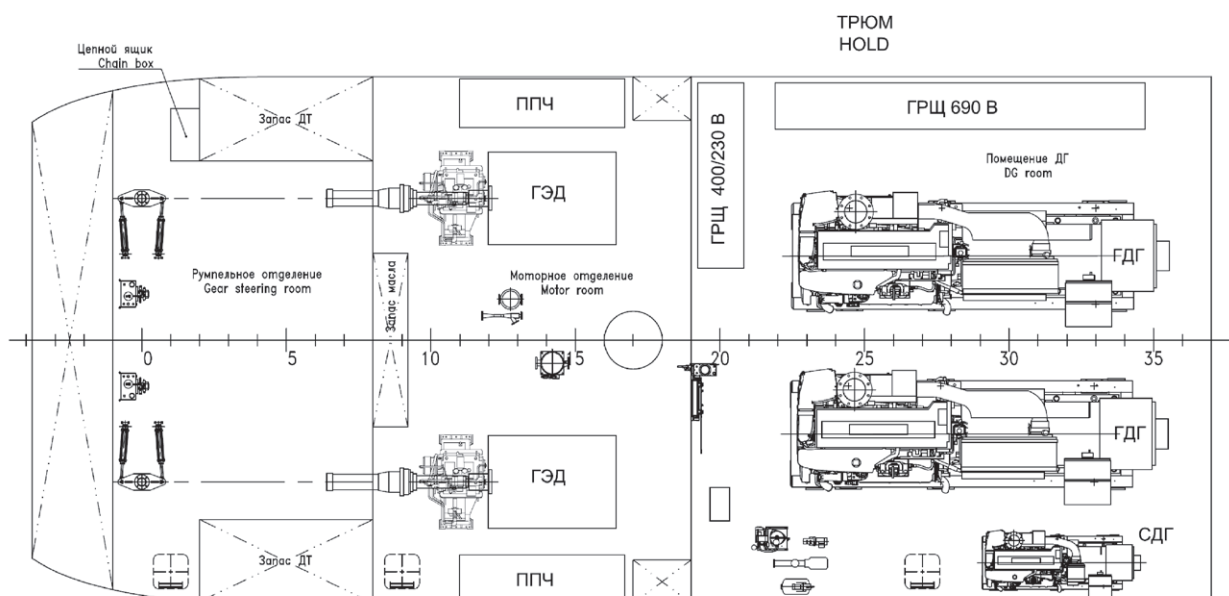


Рис. 4. Расположение оборудования ЕЭЭС с СЭД

При использовании ЕЭЭС с СЭД количество оборудования, устанавливаемого на судне, возрастает. Однако размещение оборудования ЕЭЭС с СЭД по помещениям судна более гибкое и рациональное.

Сравнительный анализ функциональных возможностей традиционной ЭЭУ и ЕЭЭС с СЭД приведен в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ функциональных возможностей ЭЭУ

№	Наименование параметра	Значение	
		Традиционная ЭЭУ	ЕЭЭС с СЭД
1	Диапазон регулирования частоты вращения	От 30 до 100	От –100 до + 100
2	Перегрузочная способность по вращающему моменту	10 %	От 25 до 150 %
3	Реверс	За счет реверсирования ГД с применением торможения контрвоздухом и воздушного запуска в обратном направлении	Плавный, без ограничений
4	Количество пусков и реверсов пропульсивной установки	Ограничено количеством сжатого воздуха в пусковых баллонах ГД	Неограниченно
5	Вращающий момент при стоянке главного (гребного) двигателя	Отсутствует	Возможна стоянка под током с вращающим моментом до 100 % от номинала
6	Интенсивность разгона гребного винта	Низкая. Запуск ГД осуществляется сжатым воздухом. Разгон ГД ведется с постепенным увеличением вращающего момента	Высокая. Разгон ГЭД значительно быстрее, так как во всем диапазоне изменения частоты ГЭД работает с максимальным моментом
7	Интенсивность разгона судна	Низкая. Процесс набора мощности ГД ограничен	Высокая. Процесс набора мощности ГЭД не ограничен

По функциональным возможностям и регулировочным характеристикам СЭД имеет значительное преимущество перед традиционной ЭЭУ. У СЭД отсутствуют ограничения по минимальной частоте вращения, количеству пусков и реверсов ГЭД, а следовательно, значительно выше маневренные характеристики судна. У СЭД значительно выше перегрузочная способность по вращающему моменту. За счет возможности форсировки момента ГЭД суда с СЭД могут работать в ледовых условиях.

По предварительным расчетам увеличение стоимости при переходе от традиционной ЭЭУ к ЕЭЭС с СЭД может составить около 25–45 % в зависимости от типа выбранного оборудования и производителя.

Сравнительный анализ массогабаритных характеристик традиционной ЭЭУ и ЕЭЭС с СЭД приведен в табл. 3.

Таблица 3

Сравнительный анализ массогабаритных характеристик ЭЭУ

Наименование параметра	Значение	
	Традиционная ЭЭУ (%)	ЕЭЭС с СЭД (%)
Объем оборудования	100	160–180
Масса оборудования	100	150–170

Увеличение объема оборудования при переходе от традиционной ЭЭУ к ЕЭЭС с СЭД составит около 60–80 %, массы — около 50–70 %. Однако за счет возможности более гибкого размещения оборудования на судне данный недостаток может быть значительно снижен. Необходимо отметить, что за счет повышения КПД при использовании ЕЭЭС с СЭД возможно снижение объемов топливных танков до 20 %.

Благодаря работе дизеля с постоянством частоты вращения и изменению нагрузки в менее широком диапазоне износ цилиндропоршневой группы ГД в составе ЕЭЭС с СЭД ниже. Опыт эксплуатации показывает, что трудоемкость технического обслуживания на судах с ЕЭЭС с СЭД может быть снижена на 10 % по сравнению с традиционными установками.

Благодаря возможности резервирования силовых каналов и более высоким показателям безотказности электрических машин надежность ЕЭЭС с СЭД выше, чем у традиционных ЭЭУ. Более высокую надежность подтверждает отечественный и зарубежный опыт эксплуатации судов с СЭД [8; 9].

КПД традиционной ЭЭУ при передаче энергии от первичного двигателя к гребному винту в режиме полного хода составляет около 40 %, КПД ЕЭЭС с СЭД — около 37 %. Разница в КПД при номинальной нагрузке составляет не более 3 %.

Энергетические диаграммы традиционной ЭЭУ и ЕЭЭС с СЭД в режиме полного хода представлены на рис. 5.

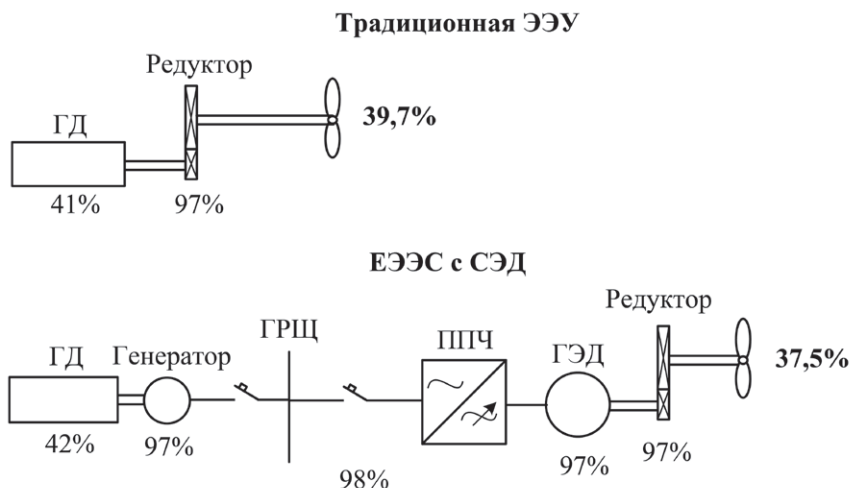


Рис. 5. Энергетические диаграммы традиционной ЭЭУ и ЕЭЭС с СЭД при номинальной нагрузке

Сравнительный анализ КПД традиционной ЭЭУ и ЕЭЭС с СЭД во всем диапазоне долевых нагрузок приведен в табл. 5.

Таблица 5

Сравнительный анализ КПД ЭЭУ

Нагрузка ГД	КПД	
	Традиционная ЭЭУ	ЕЭЭС с СЭД
100 %	37 %	36,5 %
80 %	39 %	37 %
60 %	34 %	35 %
40 %	30 %	33 %
20 %	Не может работать	34 %

В режиме долевой нагрузки КПД традиционной установки значительно снижается, в то время как на судах с ЕЭЭС с СЭД он остается практически неизменным. Это связано с тем, что при уменьшении нагрузки возможно отключение одного ДГ и работа оставшегося в режиме номиналь-

ной нагрузки. Кроме того, необходимо отметить, что ГД в ЕЭЭС с СЭД работают с постоянной частотой вращения на генератор и при снижении нагрузки их КПД в меньшей степени снижается, чем у ГД, работающих по винтовой характеристике на ВФШ [10; 11].

В зависимости от модели эксплуатации судна экономический эффект от применения ЕЭЭС с СЭД может отличаться. Снижение расходов на техническую эксплуатацию оборудования ЕЭЭС с СЭД может достигать 10 %. При использовании на лоцмейстерском судне ЕЭЭС с СЭД срок покрытия дополнительных расходов на установку оборудования не превышает 5–7 лет.

Выводы

1. Основным недостатком ЕЭЭС с СЭД является увеличение стоимости оборудования ЭЭУ, которое может составить около 25–45 % в зависимости от типа выбранного оборудования и производителя.

2. ЕЭЭС с СЭД имеет более высокие показатели массы и габаритов, однако имеется возможность более гибкого и рационального размещения оборудования ЕЭЭС по помещениям судна, что частично компенсирует указанный недостаток.

3. По функциональным возможностям и регулировочным характеристикам СЭД имеет значительное преимущество перед традиционной ЭЭУ. У СЭД нет ограничений по минимальной частоте вращения, значительно проще реализуется реверс винта, выше перегрузочная способность по моменту.

4. СЭД по сравнению с традиционными ЭЭУ имеют несколько более высокую надежность, что подтверждает отечественный и зарубежный опыт эксплуатации судов.

5. КПД традиционной ЭЭУ при передаче энергии от первичного двигателя к гребному винту в режиме полного хода несколько хуже, составляет около 40 %, КПД ЕЭЭС с СЭД — 37 %, однако на долевых нагрузках КПД СЭД значительно превышает КПД традиционного пропульсивного комплекса ЭЭУ.

6. Трудоемкость технического обслуживания на судах с ЕЭЭС с СЭД может быть снижена на 10 % по сравнению с традиционными установками. Суммарные эксплуатационные расходы у ЕЭЭС с СЭД меньше, чем у традиционной ЭЭУ на 10 %, что позволяет окупить дополнительные расходы в течение 5–7 лет.

Список литературы

1. Григорьев А. В. Комплексный подход при создании судовых электроэнергетических систем и установок / А. В. Григорьев, И. М. Васин, В. А. Хомяк // Судостроение. — 2008. — № 2. — С. 30–31.
2. Григорьев А. В. Перспективная судовая единая электроэнергетическая установка / А. В. Григорьев, Е. А. Глеклер // Эксплуатация морского транспорта: ежекварт. сб. науч. ст. — СПб.: Тип. «Феникс», 2008. — Вып. № 3 (53). — С. 68–70.
3. Григорьев А. В. Схемные решения перспективных низковольтных судовых систем электродвижения / А. В. Григорьев, В. В. Романовский, Р. Р. Зайнуллин // Эксплуатация морского транспорта: ежекварт. сб. науч. ст. — СПб.: Тип. «Феникс», 2010. — Вып. № 4 (62). — С. 76–78.
4. Опыт эксплуатации электроэнергетической установки гидрографического судна «Вайгач» / А. В. Григорьев [и др.] // Судостроение. — 2010. — № 6. — С. 29–31.
5. Григорьев А. В. Электроэнергетические установки танкеров-газовозов / А. В. Григорьев, Р. Р. Зайнуллин // Судостроение. — 2010. — № 3. — С. 39–42.
6. Григорьев А. В. Опыт проектирования электроэнергетической установки грузопассажирского парома / А. В. Григорьев, Д. В. Умяров // Судостроение. — 2010. — № 2. — С. 29–31.

7. Григорьев А. В. Судовая система электродвижения нового поколения / А. В. Григорьев // Морской флот. — 2012. — № 2. — С. 38–40.

8. Григорьев А. В. Судовые многоканальные электроэнергетические установки / А. В. Григорьев, Ю. А. Кулагин // Эксплуатация морского транспорта: ежекварт. сб. науч. ст. — СПб.: Тип. «Феникс», 2012. — Вып. № 4 (70). — С. 50–55.

9. Григорьев А. В. Системы электродвижения судов специального назначения / А. Григорьев, В. Гурьев // Информационный морской журнал. — 2013. — № 2 (20). — С. 120–122.

10. Григорьев А. В. Судовые комбинированные пропульсивные комплексы нового поколения / А. В. Григорьев, Е. А. Глеклер // Морской вестник. — 2013. — Спецвып. 2 (11). — С. 49–50.

11. Григорьев А. В. Судовые системы электродвижения на базе кольцевых электродвигателей / А. В. Григорьев, Ю. А. Кулагин, С. М. Малышев // Морской вестник. — 2013. — Спецвып. 2 (11). — С. 60–61.

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

УДК 629.514

М. С. Горохов,

аспирант,
ФБОУ ВПО Волжская государственная
академия водного транспорта

ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ФИБРОБЕТОНА СО СТАЛЬНОЙ АНКЕРНОЙ ФИБРОЙ

CRACKING RESISTANCE OF FIBER REINFORCED CONCRETE WITH STEEL ANCHOR FIBER

В статье представлено аналитическое исследование процесса трещинообразования в опытных образцах, изготовленных из фибробетона с добавлением стальной анкерной фибры длиной 60 мм. Проведен сравнительный анализ существующих методик расчета ширины раскрытия трещин в фибробетонном композите. Предложена методика расчета ширины раскрытия трещины исходя из условий работы композита на различных стадиях трещинообразования.

The article contains analytical investigation of crack formation process in samples, made from fiber reinforced concrete with steel anchor fiber. Fiber length is 60 mm. Comparative analysis of existing methods of crack width calculation in fiber reinforced concrete composite is carried out. We suggest a method of crack width calculation, depending on conditions of exploitation of composite on different stages of crack formation.

Ключевые слова: фибробетон, корпусные конструкции, трещины, фибра, методика, комбинированное армирование, напряжения, изгибающий момент, анкеровка.

Key words: fiber reinforced concrete, hull structures, cracks, fiber, methods, combined reinforcement, tensioning, bending moment, anchoring.



ИБРОБЕТОН рассматривается как перспективный материал для судов из железобетона, поэтому его качества как судостроительного материала представляют значительный интерес.

С целью уточнения методики расчета ширины раскрытия трещин в сталефибробетонных судовых корпусных конструкциях с комбинированным армированием были проведены испытания опытных образцов-плит, моделирующие характер работы наружной обшивки железобетонного корпуса судна [1, с. 68–73].

Экспериментальное исследование процесса трещинообразования в фибробетоне проводилось при четырех типах фибры — стальной анкерной длиной 60 и 30 мм, базальтовой и синтетической. По результатам испытаний была построена зависимость ширины раскрытия трещин от действующего изгибающего момента для всех типов опытных образцов. Осредненные значения ширины раскрытия трещин для каждого типа фибры и действующие изгибающие моменты представлены на рис. 1.

Анализ полученных зависимостей позволил сделать вывод о том, что наилучшую стойкость к образованию трещин и наименьшую ширину их раскрытия имеют образцы, армированные стальной анкерной фиброй длиной 60 мм. Данная фибра, как наилучшая с точки зрения трещиностойкости и технологичности, рекомендуется к применению.

Для решения задач практического использования сталефибробетона необходима методика расчета его трещиностойкости при различных вариантах действия нагрузки и конструктивных особенностях.

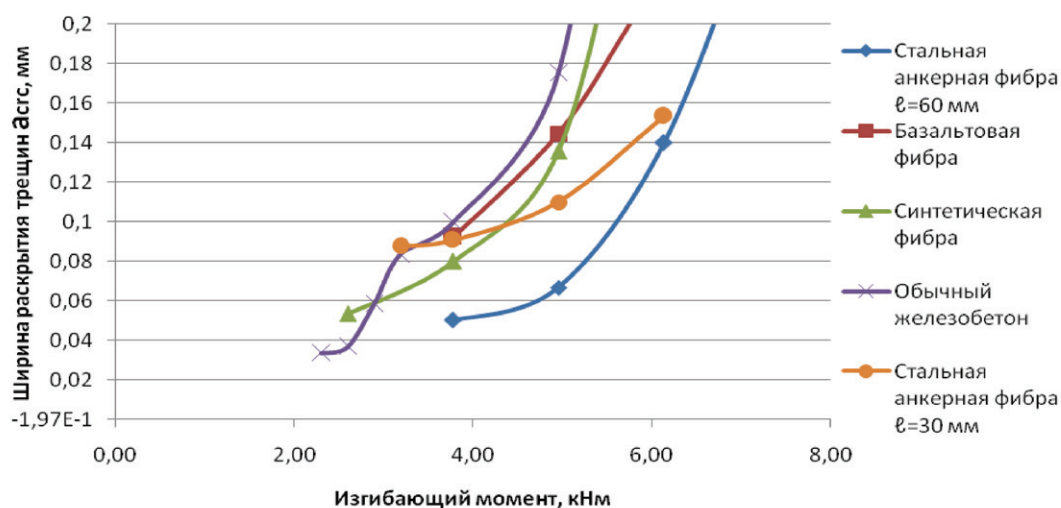


Рис. 1. Экспериментальная зависимость ширины раскрытия трещин от изгибающего момента для различных типов фибры

В настоящее время известна методика НИИЖБ, приведенная в СП 52-104-2006* [2] для расчета ширины раскрытия трещин в фибробетоне с различными типами фибры. В соответствии с ней ширина раскрытия трещины определяется по формуле

$$a_{\text{trc}} = \delta \varphi_1 \eta_{f1} \eta_{\text{red}} \left(\sigma_f / E_f \right) 20 (3,5 - 100 \mu_{\text{red}}) \sqrt[3]{d_{\text{red}}}, \quad (1)$$

где δ — коэффициент, учитывающий характер действия внешней нагрузки;
 φ_1 — коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки;
 η_{f1} — коэффициент, учитывающий влияние фибрового армирования:

$$\eta_{f1} = \frac{0,5}{0,5 + m}, \quad (2)$$

где

$$m = \left[\frac{40 d_{f, \text{red}}^2 (\mu_{fa} + 5 \mu_s)}{\mu_{fa}^2 A} + 1 \right]^{-1}, \quad (3)$$

здесь A — площадь поперечного сечения элемента, трещиностойкость которого проверяется;
 $d_{f, \text{red}}$ — приведенный диаметр используемой фибры:

$$d_{f, \text{red}} = 1,13 \sqrt{S_f}, \quad (4)$$

здесь S_f — площадь номинального поперечного сечения фибры; μ_{fa} — коэффициент приведенного армирования по площади:

$$\mu_{fa} = \mu_{fv} k_{or}^2, \quad (5)$$

здесь μ_{fv} — коэффициент фибрового армирования по объему;

k_{or} — коэффициент, принимаемый по табл. 6.1 [2];

η_s — коэффициент, учитывающий характеристики стержневой арматуры;

η_{red} — приведенный коэффициент армирования:

$$\eta_{\text{red}} = \frac{\eta_{f2} \mu_{fa} + \eta_s \mu_s}{\mu_{fa} + \mu_s}, \quad (6)$$

здесь η_{f2} — коэффициент, принимаемый в зависимости от типа фибры; σ_f — условное напряжение в крайнем растянутом волокне:

$$\sigma_f = \frac{M}{W_{f1}}, \quad (7)$$

здесь W_{f1} — момент сопротивления, приведенного к стальному сечению;
 E_f — модуль упругости стальной фибровой арматуры;
 μ_{red} — приведенный коэффициент армирования по площади сечения:

$$\mu_{red} = \mu_{fa} + \mu_s, \quad (8)$$

здесь d_{red} — приведенный диаметр фибровой и стержневой арматуры:

$$d_{red} = \frac{d_{f, red}^2 \mu_{fa} + d_s^2 \mu_s}{d_{f, red} \mu_{fa} + d_s \mu_s}. \quad (9)$$

В основе методики [2] лежат положения СНиП 2.03.01-84 [4] и СНиП 2.03.03-85 [5], основанные на эмпирических данных и исследованиях Ф. Н. Рабиновича, проведенных в ЦНИИПромзданий.

На рис. 2 приведен график зависимости ширины раскрытия трещин от действующих напряжений, полученный расчетом и экспериментальная кривая. Кроме того, учитывается, что коэффициент влияния фибрового армирования μ_{f1} может быть определен по методике СП 52-104-2006* [2] и по методике, предложенной Ф. Н. Рабиновичем [3].

На рис. 2 представлены зависимости, соответствующие методикам [3] и [2].

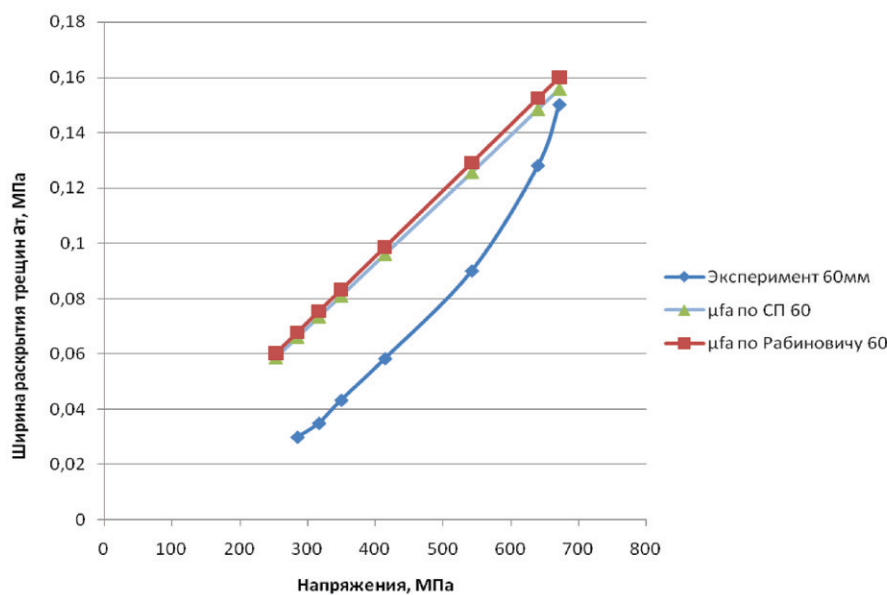


Рис. 2. Экспериментальная и теоретическая зависимости ширины раскрытия трещин от действующих напряжений в крайнем растянутом волокне

Из графика видно, что ширина раскрытия трещин, полученная при расчете μ_{f1} по методике [2], более близка к экспериментальным данным, однако ее разница со значениями, полученными по методике [3], незначительна. Также стоит отметить, что формула расчета μ_{fa} в [3] выглядит более обоснованной с точки зрения характера работы композита, так как учитывает влияние механизма анкеровки фибры в бетонной матрице. Однако дальнейший анализ и расчет выполнялся по методике [2], так как предлагаемая в ней формула расчета μ_{fa} удобнее в использовании.

Из приведенного на рис. 2 графика видно, что при значениях действующих напряжений до 670 МПа, соответствующих изгибающему моменту 6,13 кНм, теоретические значения превосходят действительные почти в 2 раза. Отмеченное расхождение результатов есть следствие несовершенства методики [2] в части учета особенностей механизма раскрытия трещин в судокорпусных конструкциях с комбинированным армированием. Эти конструкции являются тонкостенными по

сравнению с железобетонными конструкциями, используемыми в гражданском строительстве, что оказывает существенное влияние на характер распределения фибры и структуру бетона. Кроме того, методика [2] не включает возможность анализа трещиностойкости композита со стальной анкерной фиброй длиной 60 мм. Для уточнения характера изменения значений ширины раскрытия трещин процесс трещинообразования предлагается рассматривать состоящим из трех стадий работы композита (рис. 3). Такой подход более точно отражает реальную физическую картину трещинообразования в сечении с комбинированным армированием.

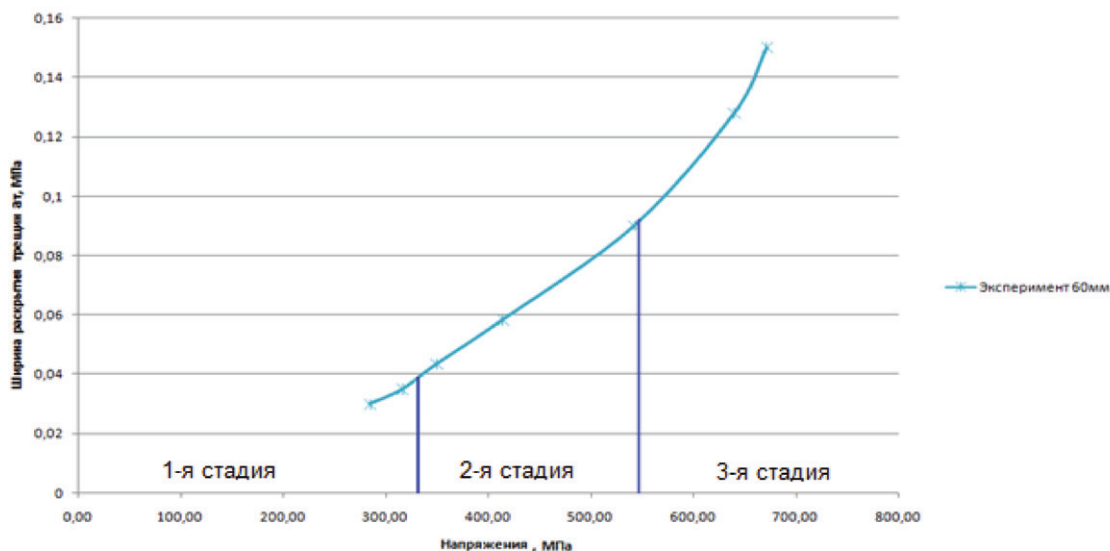


Рис. 3. Стадии работы сталефибробетонного композита

Первая стадия работы композита характеризуется появлением первых трещин и началом активного трещинообразования на растянутой бетонной поверхности. Растягивающие усилия в сечении превосходят прочность матричного бетона на растяжение. Начинают развиваться пластические деформации. Фибры надежно заанкерены в бетоне матрицы, и потеря сцепления на границе контакта бетона и металла фибр не происходит. Данная стадия работы композита является упругопластической. При дальнейшем увеличении нагрузки завершается процесс образования трещин на бетонной поверхности, новые трещины не образуются и композит переходит во вторую стадию работы — пластическую.

На второй стадии работы происходит активное увеличение ширины раскрытия образовавшихся трещин в композите. Растягивающие усилия активно воспринимаются фибрами, пересекающими впадины трещин. В зоне трещин усилия воспринимаются фибробетонным композитом и арматурными стержнями. Начало второй стадии работы композита характеризуется наступлением момента начала потери сцепления в контактной зоне поверхности фибры и окружающей ее бетонной матрице. Действующие на поверхности фибр касательные напряжения превосходят напряжения сцепления в контактной зоне $R_{\text{сц}}$ и начинается процесс выдергивания фибры из бетона. Величина $R_{\text{сц}}$, определенная на основе эмпирических данных [3], соответствует

$$R_{\text{сц}} = R_b / 8, \quad (10)$$

где R_b — сопротивление бетона матрицы сжатию.

С другой стороны, сила сцепления создает касательные напряжения, возникающие в контактной зоне при выдергивании фибр из матрицы, и определяется как

$$R_{\text{сц}} = \frac{N_f}{A_f}, \quad (11)$$

где N_f — осевое выдергивающее усилие, действующее на крайние растянутые фибры, пересекающие расчетное сечение под прямым углом; A_f — площадь поверхности анкеровки единичной фибры с бетоном матрицы.

Зная силу сцепления с бетоном $R_{\text{сц}}$ и площадь поверхности контакта фибр A_f , действующее осевое усилия в крайнем растянутом волокне выразится из формулы (11):

$$N_f = R_{\text{сц}} A_f.$$

Нормальные растягивающие напряжения в крайних растянутых волокнах определяются по формуле

$$\sigma_f = \frac{N_f}{S_f},$$

где S_f — площадь поперечного сечения фибры.

В нашем случае при $R_b = 22$ МПа, $A_f = 94,2$ мм² и $S_f = 3,14$ мм² вторая стадия работы композита наступает при нормальных растягивающих напряжениях $\sigma_f = 330$ МПа.

Третья стадия работы композита характеризуется достижением предельного состояния прочности сталефибробетонного сечения на растяжение при изгибе. Дальнейшее развитие трещин происходит вследствие выдергивания и частичного разрыва фибры последовательно по высоте сечения. При дальнейшем увеличении внешней нагрузки происходит образование сквозных трещин и наступает разрушение конструкции. Данная стадия характеризуется пластическим характером работы композита.

На представленной выше диаграмме экспериментальных значений ширины раскрытия трещин третья стадия работы композита наступает при напряжениях в крайних растянутых волокнах сечения порядка 540 МПа, при которых происходит изменение кривизны кривой на графике и существенное ускорение развития трещин, вплоть до разрушения конструкции. Данная точка изменения характера роста диаграммы характеризуется процессом интенсивного выдергивания фибры из тела бетона-матрицы. Происходит это из-за того, что анкеровка фибры в бетоне-матрице класса В30 недостаточна и сопротивление растяжению сталефибробетона будет исчерпываться из-за выдергивания условно всех фибр из бетона. В реальных же условиях механизм выдергивания фибры из бетонной матрицы довольно сложный, и строго описать характер взаимодействия заанкеренной фибры в матрице в настоящее время довольно проблематично из-за отсутствия серьезных исследований этого процесса, что является следствием технических трудностей проведения эксперимента. Известно, что выдергивание фибры из матрицы сопровождается смятием бетона, окружающего анкерный крючок фибры, и одновременным распрямлением загибов данного крючка. На основе обработки опытных данных было установлено, что сопротивление смятию в данном случае составило $R_{\text{см}} = R_b/5$, соответствующему сопротивлению фибробетона на растяжение при изгибе, хотя по данным [3] оно составляет $R_{\text{см}} = 2,5R_b$, что, по нашему мнению, является сильно завышенным и в очередной раз говорит о необходимости проведения дальнейших детальных исследований в этом направлении.

Исходя из приведенного выше анализа стадий работы композита с точки зрения трещинообразования, во-первых, следует учесть особенность работы фибры в судовых конструкциях (плитах). Высота их поперечного сечения небольшая, что создает предпосылки для более благоприятной ориентации фибр в плоскости плиты и повышает насыщенность сечения композита стержневой арматурой. Это в конечном итоге приводит к уменьшению коэффициента η_{f1} , учитывающего влияние фибрового армирования. Последний в соответствии с методикой [2] определяется по формуле (2).

Значения входящего в нее параметра m , исходя из анализа полученных экспериментальных данных и стадии работы композита, предлагается определять по следующим выражениям:

$$\text{если } 0 < \sigma_f \leq 330 \text{ МПа, } m = \left[\frac{d_{f, \text{red}}^2 (\mu_{fa} + \mu_s)}{\mu_{fa}^2 A} + 0,8 \right]^{-1};$$

$$\text{если } 330 < \sigma_f \leq 540 \text{ МПа, } m = \left[\frac{20d_{f, \text{red}}^2 (\mu_{fa} + 2\mu_s)}{\mu_{fa}^2 A} + 1 \right]^{-1};$$

$$\text{если } 540 < \sigma_f \text{ МПа, } m = \left[\frac{20d_{f, \text{red}}^2 (\mu_{fa} + 2\mu_s)}{\mu_{fa}^2 A} + 1 \right]^{-1}.$$

Кроме того, учитывая отмеченные выше особенности работы анкерной стальной фибры в судовых конструкциях на разных стадиях трещинообразования, что влияет на напряжения в крайнем растянутом волокне изгибаемой композитной плиты, предлагается корректировать его величину введением следующих коэффициентов:

$$\text{если } 0 < \sigma_f \leq 330 \text{ МПа, } K_\sigma = (0,0014\sigma_f + 0,22);$$

$$\text{если } 330 < \sigma_f \leq 540 \text{ МПа, } K_\sigma = (0,0015\sigma_f + 0,22);$$

$$\text{если } 540 < \sigma_f \leq 540 \text{ МПа, } K_\sigma = (0,0022\sigma_f - 0,15).$$

Для проверки сходимости значений, полученных по предлагаемой методике, отличающейся от [2] введением коэффициента K_σ и способом расчета параметра m , с экспериментальными данными выполнен расчет ширины раскрытия трещин для опытных образцов-плит. Результаты расчета представлены на рис. 4.

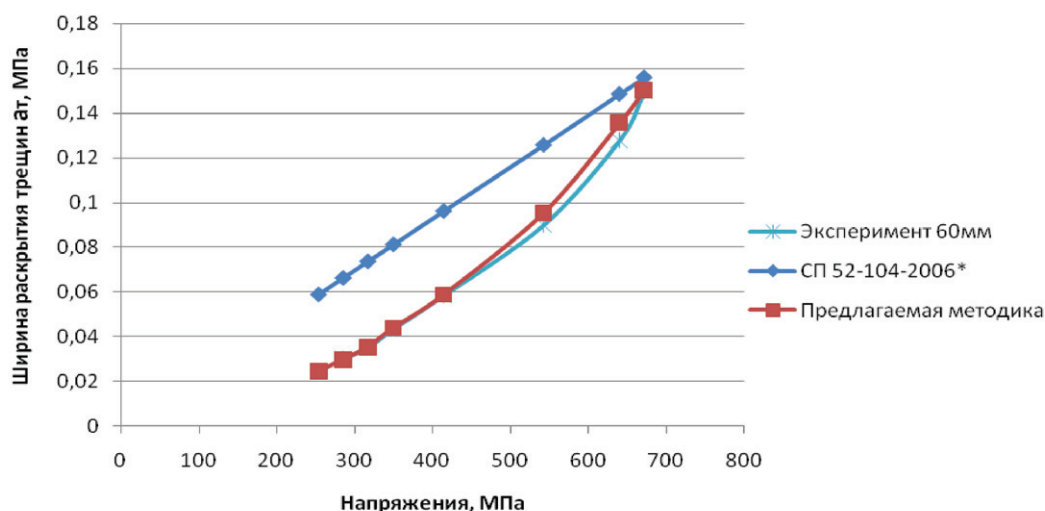


Рис. 4. Ширина раскрытия трещин в плите опытного образца

Как видно из рис. 4, разработанная методика расчета ширины раскрытия трещин имеет достаточно хорошую сходимость с экспериментальными данными и более точно учитывает характер работы сталефибробетонной корпусной конструкции, армированной стальной анкерной фиброй длиной 60 мм типа HENDIX, при восприятии изгибающего момента.

Список литературы

1. Горохов М. С. Влияние параметров дисперсного армирования на трещиностойкость судовых конструкций из фибробетона / М. С. Горохов // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — Вып. 1 (23). — С. 68–73.

2. СП 52-104-2006*. Сталефибробетонные конструкции. — М.: НИИЖБ: ОАО «НИЦ «Строительство», 2010. — 68 с.
3. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории проектирования, технологии, конструкции / Ф. Н. Рабинович. — М.: Изд-во АСВ, 2004. — 560 с.
4. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. — М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1989. — 80 с.
5. СНиП 2.03.03-85*. Армоцементные конструкции. — М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1986. — 51 с.

УДК 621.785; 621.791; 621.762

В. А. Коротков,
д-р техн. наук, профессор,
Нижнетагильский филиал
Уральского федерального университета

ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКИ

TECHNOLOGY MANUAL PLASMA HARDENING

Разработанная в 2002 г. установка УДГЗ-200 позволяет вручную закаливать то, что ранее закалке не подвергалось, быстро изнашивалось и становилось причиной частых и дорогостоящих ремонтов. Ухудшение шероховатости поверхности и искажение размеров при закалке столь незначительные, что многие детали после нее не нуждаются в финишной механообработке, а сразу направляются в эксплуатацию, что снижает продолжительность и себестоимость их производства. Слой плазменной закалки многократно превосходит в износостойкости металл в нормализованном или состоянии объемной закалки с отпуском, что делает применение плазменной закалки высокоэффективным. Плазменная закалка установкой УДГЗ-200 производится без подачи воды на деталь, что позволяет выполнять ее не только в специализированных термических цехах, но также по месту обработки и эксплуатации деталей. Это в совокупности с тем, что закалку установкой УДГЗ-200 осваивают сварщики 2–3-го разрядов, упрощает внедрение ее в производство.

Developed in 2002, setting UDGZ-200 allows you to manually temper what had previously not been subject to hardening, wear out quickly and cause frequent and costly repairs. Deterioration of surface roughness and dimensional distortion during hardening so minor that many of the items after her do not need finish machining, and immediately sent to the operation, which reduces the duration and cost of production. Layer of plasma hardening surpasses in wear metal in the normalized condition or bulk quenched and tempered, which makes use of a highly effective plasma hardening. Plasma hardening installation UDGZ-200 is produced without the water supply is not the item that allows her not only in specialized thermal shops, but also at the place of processing and operation details. This coupled with the fact that the hardening installation UDGZ-200 master welder 2-3 discharges facilitates its introduction into production.

Ключевые слова: плазменная поверхностная закалка, износостойкость.

Key words: plasma surface hardening, wear resistance.

Введение

В современный век роботов и «безлюдных» производств разработка ручной технологии может показаться ошибочной. Однако ручные технологии благодаря универсальности демонстрируют живучесть. В мире основной объем сварки (более 80 %) продолжает выполняться электродами или полуавтоматами, то есть вручную. По аналогии полагали (этот расчет оправдался), что с разработкой ручного способа поверхностной закалки объемы ее применения возрастут и произойдет

это за счет тех изделий, которые ранее по тем или иным причинам закалить было невозможно. Это контактные поверхности корпусов и станин оборудования, а также иных крупногабаритных деталей. Их термическому упрочнению известными способами мешают большие размеры и масса, а также плохая восприимчивость к закалке некоторых сталей, из которых они изготавливаются. Вместе с тем упрочнение этих поверхностей является важным в решении задач по увеличению сроков межремонтной эксплуатации и надежности оборудования [6].

Проблема ручной плазменной заправки была решена в 2002 г. в ООО «Композит», созданном в 1990 г. при Нижнетагильском филиале УПИ (ныне — УрФУ). Здесь выполнили разработку способа и установки УДГЗ-200 для ручной плазменной заправки. В установке (рис. 1, табл. 1) предусмотрена горелка, небольшие размеры которой делают ее удобной для ручного манипулирования и позволяют добираться до труднодоступных мест, то есть упрочнять, что ранее эксплуатировалось без упрочнения и становилось причиной частых и дорогостоящих ремонтов.

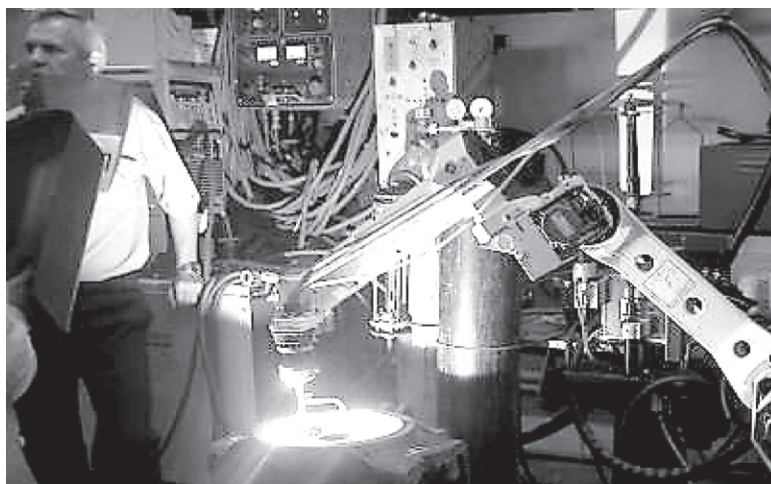


Рис. 1. Закалка установкой УДГЗ-200:
слева — вручную, справа — роботом

Таблица 1

Характеристики установки УДГЗ-200 и процесса плазменной заправки

Процесс заправки	Установка УДГЗ-200
Производительность — 25–85 см ² /мин Рабочий газ — аргон (15 л/мин) Глубина заправки — 0,5–1,5 мм Твердость — HRC35–65 (зависит от марки стали)	Напряжение сети — 380 В Мощность — 10 кВт Масса — 20 + 20 кг (источник питания и блок охлаждения горелки)
Установка УДГЗ-200 выпускается по ТУ 3862-001-47681378-2007. К концу 2013 г. было произведено более 50 шт. установок, которые поставлены на предприятия России, Украины, Казахстана, Киргизии. В 2008 г. установка была отмечена серебряной медалью на Женевском салоне изобретений и инноваций	

При заправке сварщик перемещает дугу по поверхности со скоростью, обеспечивающей «вспотевание» (состояние, предшествующее плавлению) поверхности под дугой. Это контролировать не труднее, чем плавление при сварке, но оно обеспечивает необходимый для заправки нагрев и не допускает грубого оплавления поверхности. Работу на установке осваивают сварщики 2–3-го разрядов, при этом она может применяться в механизированных, автоматизированных и роботизированных (рис. 1, справа) комплексах, что делает ее пригодной к применению в современных высокотехнологичных производствах. Наличие установок УДГЗ-200 восполняет отсутствие традиционного оборудования для заправки, делает заправку экологически чистой.

Общие сведения о свойствах закаленного слоя

Дуга оставляет на поверхности закаленные полосы шириной 7–12 мм, окрашенные «цветами побежалости», то есть покрытые тонкой пленкой окислов, которые не оказывают существенного влияния на шероховатость в диапазоне Rz 8–60 (рис. 2). Глубина закаленного слоя составляет ~ 1 мм, благодаря чему не происходит значительных деформаций закаливаемых деталей. Это в совокупности с минимальным изменением шероховатости позволяет многие детали отправлять в эксплуатацию без трудоемкой финишной механообработки твердого закаленного слоя, что снижает себестоимость их изготовления [7, р. 475–479].

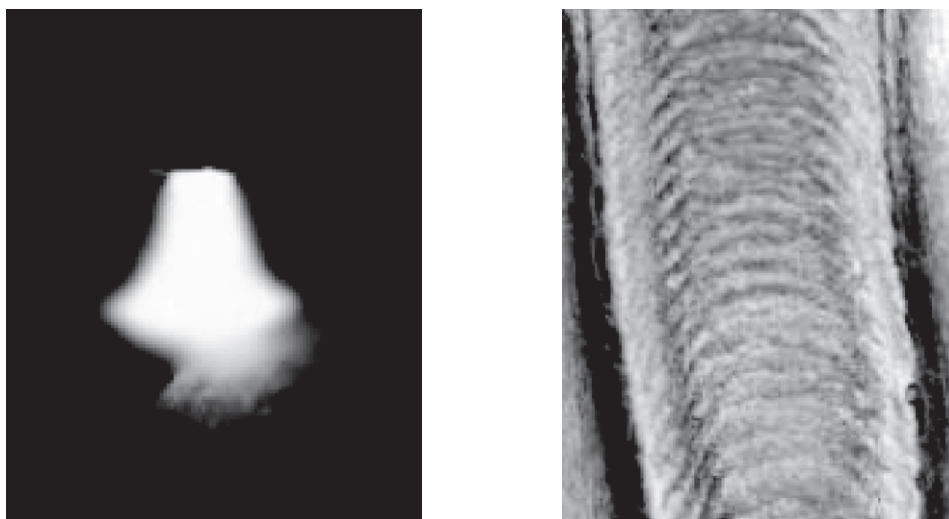


Рис. 2. Плазменная дуга и оставленная ею закаленная полоса

Расчетами и экспериментально установлено, что при закалке массивных тел на режимах, типичных для УДГЗ-200, скорости охлаждения превышают критические [8, р. 407–410]. При закалке пластин они уменьшаются, но возможность неполной закалки углеродистых сталей (на твердость ~ HV360) сохраняется для толщин ≥ 4 мм. Это дает возможность выполнять закалку без подачи воды на место нагрева, что упрощает организацию рабочих мест и позволяет применять установку УДГЗ-200 на ремонтных площадках, по месту механообработки и эксплуатации деталей, а не только в термических цехах. Благодаря этому расширяется номенклатура упрочняемых деталей — закалке подлежит то, что ранее было ей недоступно.

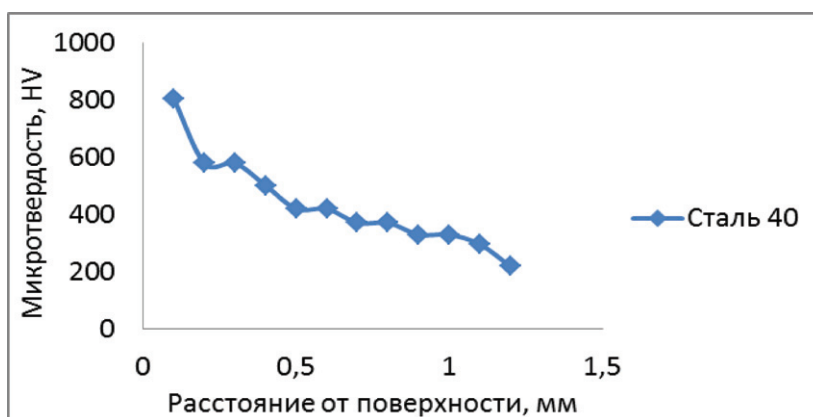


Рис. 3. Распределение твердости в слое плазменной закалки на стали 40

Типичная структура закаленного слоя аналогична зоне термического влияния в основном металле сварных соединений [9]. У поверхности возможно образование дендритной структуры

от ее оплавления; ниже идет участок перегрева с укрупненным зерном; затем — мелкозернистый участок нормализации; еще ниже — участок неполной перекристаллизации, за которым следует последний участок — отпуска. Таким образом, твердость закаленного слоя по мере удаления от поверхности снижается постепенно (рис. 3), что предупреждает образование отколов.

Износостойкость слоя плазменной закалки

Исследовалась износостойкость сталей с плазменной закалкой на машине трения по схеме «диск–колодка» без смазки. Частота вращения диска ($d\ 40\times 10\text{ мм}$) 425 об/мин. Предусматривалось пять этапов испытаний по 5 мин с нагрузкой 200Н на первых четырех и полуторным увеличением нагрузки до 300 Н на 5-м этапе со взвешиванием после каждого этапа для определения износа. На первом этапе происходит приработка пар, 2–4-й этапы характеризуют установившийся процесс изнашивания. Пятый этап показывает способность пар трения выдерживать перегрузку; во всех случаях применения плазменной закалки увеличения износа на пятом этапе не наблюдалось. В каждом сочетании материалов испытывались три пары образцов.

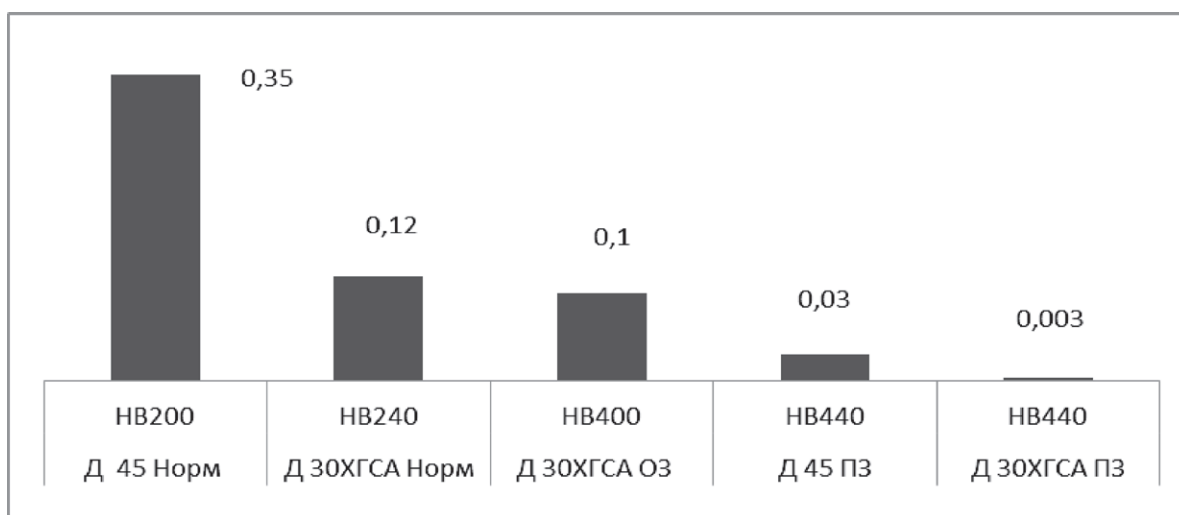


Рис. 4. Средний износ (г) дисков (Д) из конструкционных сталей с различной твердостью (HB) на этапах 2–4-м установившегося изнашивания. Виды упрочнения дисков: Норм — нормализация, ОЗ — объемная закалка с отпуском, ПЗ — плазменная закалка

Проведено сравнение износостойкости дисков из конструкционных сталей при трении о нормализованную колодку из стали 45. Из рис. 4 видно, что в нормализованном состоянии износ легированной стали 30ХГСА примерно втрое меньше, чем углеродистой стали 45. Объемная закалка с отпуском почти не отразилась на износе стали 30ХГСА. Плазменная закалка по сравнению с нормализованным состоянием существенно уменьшила износ обеих сталей: примерно в 10 раз стали 45 и в 4 раза стали 30ХГСА.

Из табл. 2 видно, что плазменная закалка колодок из рельсовой стали снизила их износ в 126 раз; при этом неупрочненный диск из колесной стали не только не снизил износостойкости, но и увеличил ее в 2,1 раза. Существенное увеличение износостойкости в результате плазменной закалки объясняется сменой механизма изнашивания. Поверхности трения без упрочнения имели возможность «схватываться», то есть образовывать выступами микронеровностей точечные сварные соединения, которые создавали абразивный фактор, ускоряющий износ. Исключение явлений схватывания за счет упрочнения плазменной закалкой привело к более медленному изнашиванию по механизму усталостного диспергирования.

Таблица 2

**Влияние плазменной закалки на износ* рельсовой стали
в парах трения с колесной сталью**

Колодка, рельсовая сталь			Диск, колесная сталь 65Г		
Состояние	Износ, г	Киз	Состояние	Износ, г	Киз
Без закалки	1,507	1,0	Сорбитизация	2,125	1,0
С плазменной закалкой	0,012	126	Сорбитизация	1,021	2,1

* Суммарный за 1–4 циклы испытаний.

Было также установлено, что закаленные диски из низкоуглеродистой стали 20ГЛ снижают износ по сравнению с нормализованным состоянием в ~ 9 раз, а сопрягаемые с ним колодки из той же стали — в 1,8 раза. Отсюда следует целесообразность применения установки УДГЗ-200 для упрочнения контактных поверхностей корпусных частей оборудования, обычно изготавливаемых из низкоуглеродистых сталей и термическому упрочнению не подвергающихся из-за высоких затрат при минимальном упрочняющем эффекте.

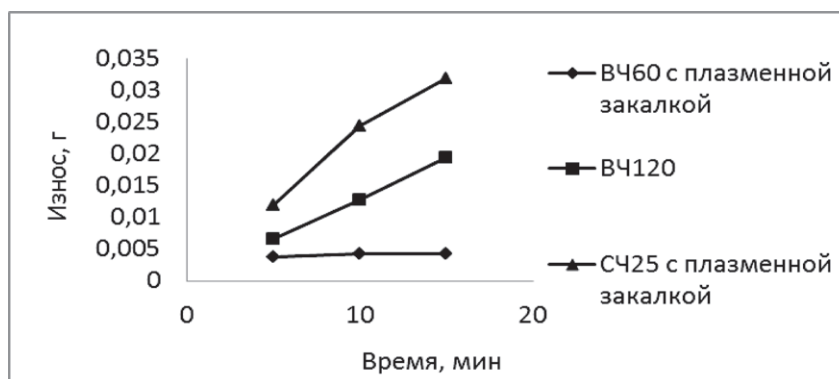


Рис. 5. Износ чугунных колодок при трении о диски из стали 30ХГСА

Были приготовлены колодки из чугуна: ВЧ120, ВЧ60, СЧ25, и диски из стали 30ХГСА (НВ 330); результаты испытаний представлены на рис. 5. Чугун ВЧ60 без плазменной закалки сразу получил износ на глубину 3 мм, то есть больше обычного в 250 раз. Еще больше был износ серого чугуна СЧ25, поэтому эти результаты на графике не приведены. Наименьший износ получил чугун ВЧ60 с плазменной закалкой, который оказался меньше износа чугуна ВЧ120 на ~ 50 %. Износ серого чугуна СЧ25 с плазменной закалкой, хотя и больше износа ВЧ120 на ~ 80%, но не катастрофичен как износ СЧ25 без плазменной закалки. Отсюда можно сделать заключение о целесообразности применения плазменной закалки подшипниковых гнезд крупных редукторов, изготавливаемых из чугуна, и других изделий.

Примеры практического применения плазменной закалки

Корпуса конусов дробилок мелкого и среднего дробления (КСМД-2200, Sandvik-7800, ФКВ-2100 и др.) быстро изнашиваются по поясу контактирования со сменной броней. На Качканарском ГОКе ежегодно восстановлению наплавкой подлежало до 25 конусов. С конца 2011 г. приступили к упрочнению их плазменной закалкой (рис. 6), благодаря этому потребность в восстановлении изношенных конусов в 2013 г. снизилась до 5 шт., то есть в пять раз.

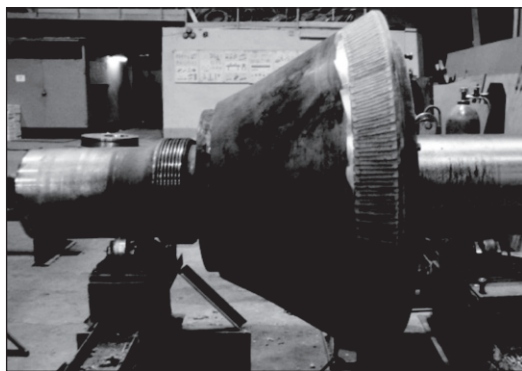


Рис. 6. Корпус конуса дробилки среднего дробления, контактный пояс которого упрочнен плазменной закалкой



Рис. 7. Технологический барабан с зубчатым венцом, упрочненным плазменной закалкой



Рис. 8. Канатный барабан (слева) и шкивы, упрочненные плазменной закалкой

Зубчатый венец (40ГЛ) крупногабаритного технологического барабана (рис. 7), работающий в зацеплении с приводной шестерней (34ХН1М), представляет собой дорогостоящее изделие. Нарботка до предельного износа зубьев (30 %) составляла: венца — 2 месяца, приводной шестерни — один месяц. Плазменная закалка увеличила наработку до износа закаленного слоя толщиной 1 мм: у венца — до 4 месяцев, а у приводной шестерни — до 2,5 месяцев. Затем во время плановых профилактических ремонтов без демонтажа деталей была выполнена повторная закалка зубьев установкой УДГЗ-200. До предельного износа зубьев закалку повторяют 4 раза, что увеличило срок службы зубчатого венца до 12–16 месяцев, а приводной шестерни до 6–8 месяцев, то есть приблизительно в 7 раз. Экономия от применения плазменной закалки составила 38 млн руб. при эффективности вложений в плазменную закалку 5 руб. экономии на рубль затрат.

Быстро изнашиваемыми являются ручки канатных блоков и барабанов. Малые размеры горелки установки УДГЗ-200 позволяют производить их закалку (рис. 8). На Качканарском ГОКе плазменная закалка двух витков, наиболее часто включающихся в работу, канатных барабанов узла «напора» карьерного экскаватора ЭКГ-8 и втрое увеличила их межремонтную наработку; одновременно замечено увеличение сроков службы канатов.

Половина рельсов (КР-100) кранового пути была упрочнена плазменной закалкой, а другая половина поставлена без упрочнения. Через год эксплуатации износ незакаленных рельсов составил 2 мм, а износ закаленных характеризовался как «потертость». Еще через год эксплуатации износ незакаленных рельсов составлял 4 мм, а закаленных достиг значения, доступного измерению — около 1 мм.

Заключение

Разработанная в 2002 г. установка УДГЗ-200 позволяет вручную закаливать то, что ранее закалке не подвергалось, быстро изнашивалось и становилось причиной частых и дорогостоящих ремонтов.

Ухудшение шероховатости поверхности и искажение размеров при закалке столь незначительные, что многие детали после нее не нуждаются в финишной механообработке, а сразу направляются в эксплуатацию, что снижает продолжительность и себестоимость их производства.

Слой плазменной закалки многократно превосходит в износостойкости металл в нормализованном или состоянии объемной закалки с отпуском, что делает применение плазменной закалки высокоэффективным.

Плазменная закалка установкой УДГЗ-200 производится без подачи воды на деталь, что позволяет выполнять ее не только в специализированных термических цехах, но также по месту обработки и эксплуатации деталей. Это в совокупности с тем, что закалку установкой УДГЗ-200 осваивают сварщики 2–3-го разрядов, упрощает внедрение ее в производство.

Список литературы

1. *Хренов К. К.* Дуговая поверхностная закалка / К. К. Хренов, Г. В. Васильев // Автогенное дело. — 1950. — № 10. — С. 1–5.
2. *Кобяков О. С.* Использование микроплазменного нагрева в процессах упрочняющей технологии / О. С. Кобяков, Е. Г. Гринзбург // Автоматическая сварка. — 1985. — № 5. — С. 65–67.
3. *Лецинский Л. К.* Структура и свойства наплавленного металла углеродистых сталей, упрочненных плазменной струей / Л. К. Лецинский, И. И. Пирч, С. С. Смотугин [и др.] // Сварочное производство — 1985. — № 11. — С. 20–22.
4. *Бердников А. А.* Упрочнение чугунов методом плазменной закалки / А. А. Бердников, В. С. Демин, Е. Л. Серебрякова [и др.] // Сталь. — 1995. — № 1. — С. 56–59.
5. *Сафонов Е. Н.* Поверхностное упрочнение железоуглеродистых сплавов дуговой закалкой / Е. Н. Сафонов, В. И. Журавлев // Сварочное производство — 1997. — № 10. — С. 30–32.
6. *Орлов П. И.* Основы конструирования: справ.-метод. Пособие: в 2 кн. / П. И. Орлов; под ред. П. Н. Учаева. — М.: Машиностроение, 1988. — Кн. 1. — 560 с.
7. *Korotkov V. A.* Investigations into plasma quenching / V. A. Korotkov, A. V. Shekurov // Welding International. — 2008. — Vol. 22, № 7.
8. *Korotkov V. A.* Surfacing of plungers for high-pressure vessels / V. A. Korotkov, S. P. Anan'ev, A. V. Shekurov // Welding International. — 2013. — T. 27, № 5.
9. Теория сварочных процессов / под ред. В.М. Неровного. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007.

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА РЕДУКЦИОННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ

INFLUENCE OF RESIDUAL STRESS ON REDUCTION FACTORS OF REINFORCEMENT RIBS

Предложена методика расчета редукционных коэффициентов ребер жесткости с учетом сжимающих остаточных напряжений, которые возникают при ремонте корпусов судов. Построен график для определения изменения редукционного коэффициента в зависимости от относительного удлинения и уровня сжимающих усилий.

The technique for the calculation of reduction factors of reinforcement ribs considering compressive residual stresses that occur when repairing ship hulls was proposed. The diagram that deals with determining the changes of reduction factors depending on relative elongation and the level of compressive strains was developed.

Ключевые слова: остаточные напряжения, редукционные коэффициенты.
Key words: residual stress, reduction factors.

3

А время эксплуатации обшивка корпуса судна сильно изнашивается. Для поддержания его технического состояния на заданном уровне необходимо производить плановый ремонт. Но при этом в корпусе судна возникают сжимающие остаточные напряжения. Это происходит из-за того, что корпус всегда находится в напряженном состоянии при ремонте, так как на него действуют силы веса и силы поддержания воды или реакции кильблоков. В этом случае корпус судна будет рассматриваться как эквивалентный брус, нагруженный на участке ремонта изгибающим моментом. После удаления ремонтируемого участка напряжения по сечению изменяются из-за изменения момента инерции и смещения нейтральной оси [2, с. 87–91; 4].

При замене участка новым металлом на этом участке напряжения не действуют, хотя в окружающих связях они есть. Поэтому, когда изгибающий момент в рассматриваемом сечении будет устранен, в корпусе появятся сжимающие остаточные напряжения. Они пропорциональны напряжениям в конструкции до ремонта и изменению момента инерции при вырезке ремонтируемого участка. Поэтому необходимо выяснить, как влияют сжимающие остаточные напряжения на редукционный коэффициент продольных ребер жесткости при вырезанной части корпуса.

При проектировании транспортных судов Правила Российского речного регистра [5] не допускают потерю устойчивости продольных ребер жесткости, но в процессе эксплуатации геометрические характеристики ребра уменьшаются из-за износа и вследствие этого при воздействии одних и тех же усилий ребро может потерять устойчивость. Редукционный коэффициент для них в этом случае можно определить по формуле

$$\varphi_p = \frac{\sigma_{кр}}{|\sigma_{ж}|}, \quad (1)$$

где $\sigma_{кр}$ — критические напряжения сжатого ребра жесткости; $\sigma_{ж}$ — абсолютное значение сжимающих напряжений в жестких связях.

Критические напряжения Правилами РРР рекомендуется определять по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{кр} &= \sigma_3 \text{ при } \sigma_3 \leq R_{сН}; \\ \sigma_{кр} &= \left(1,12 - \frac{0,312 R_{сН}}{\sigma_3} \right) R_{сН}; \\ \text{при } 0,6 R_{сН} < \sigma_3 < 2,6 R_{сН}; \\ \sigma_3 &= R_{сН} \text{ при } \sigma_3 \geq R_{сН} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где $\sigma_{кр}$ — критические напряжения при сжатии продольных ребер жесткости с присоединенным пояском, МПа;

$$\sigma_3 = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{b^2 \cdot (f + at)}, \quad (3)$$

где E — модуль нормальной упругости, МПа;

J — момент инерции площади сечения ребра с присоединенным пояском $0,5a$, но не более $25t$, см⁴;

b — пролет ребра, см;

f — площадь поперечного сечения ребра жесткости без присоединенного пояса, см²;

a — расстояние между продольными ребрами, см;

t — толщина пластины, см;

$R_{сН}$ — предел текучести материала, МПа.

Профессором, д-ром техн. наук С. О. Барышниковым были получены зависимости для редуционных коэффициентов сжатых продольных ребер жесткости в зависимости от их относительной гибкости [1, с. 110–116]:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_p &= \frac{2,6}{n} \cdot \left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda} \right)^2, \text{ при } \left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda} \right) \geq 0,48 \\ \varphi_p &= \frac{1}{n} \cdot \left(1,12 - \left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda} \right)^2 \right), \text{ при } 0,48 < \left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda} \right) < 1 \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где $\left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda} \right)$ — относительная гибкость ребра;

$\lambda_{\min}$ — минимальная гибкость ребра, при которой оно не будет терять устойчивость даже при сжимающих напряжениях, равных $R_{сН}$, определяемая по формуле

$$\lambda_{\min} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{2,6 \cdot R_{сН}}}, \quad (5)$$

λ — гибкость продольного ребра жесткости:

$$\lambda = \sqrt{\frac{b^2}{J / (f + at)}}, \quad (6)$$

n — уровень действующих сжимающих напряжений:

$$n = \frac{|\sigma_{ж}|}{R_{сН}}. \quad (7)$$

Уровень сжимающих напряжений от внешней нагрузки в связях с остаточными сжимающими напряжениями можно представить в виде:

$$n = n_d + n_{ост}. \quad (8)$$

где $n_{\text{ост}}$ — уровень сжимающих остаточных напряжений:

$$n_{\text{ост}} = \frac{|\sigma_{\text{ост}}|}{R_{\text{eH}}}, \quad (9)$$

$n_{\text{д}}$ — уровень действующих сжимающих напряжений.

Тогда, используя выражение (8), редуционный коэффициент при $\left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda}\right) \leq 0,48$ будет равен:

$$\varphi'_p = \frac{2,6}{n_{\text{д}} + n_{\text{ост}}} \cdot \left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda}\right)^2. \quad (10)$$

Используя выражения (4) и (10), можно получить формулу при $\left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda}\right) \leq 0,48$:

$$\Delta\varphi_p = \varphi_p - \varphi'_p = \frac{2,6}{n_{\text{д}}} \left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda}\right)^2 - \frac{2,6}{n_{\text{д}} + n_{\text{ост}}} \left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda}\right)^2. \quad (11)$$

После преобразования выражения (11) получим окончательный вид изменения редуционного коэффициента:

$$\Delta\varphi_p = -2,6 \cdot \left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda}\right)^2 \cdot \frac{n_{\text{ост}}}{n_{\text{д}}(n_{\text{д}} + n_{\text{ост}})}. \quad (12)$$

В результате аналогичных преобразований, выполненных для $0,48 < \left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda}\right) < 1$, получена формула

$$\Delta\varphi_p = - \left[1,12 - \frac{0,12}{\left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda}\right)^2} \right] \cdot \frac{n_{\text{ост}}}{n_{\text{д}}(n_{\text{д}} + n_{\text{ост}})} \text{ при } 0,48 < \left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda}\right) < 1. \quad (13)$$

По полученной зависимости (12) и (13) построен график для определения изменения редуционного коэффициента $\Delta\varphi_p$ в зависимости от уровня сжимающих остаточных напряжений $n_{\text{ост}}$ и относительной гибкости, представленный на рис. 1.

В [3, с. 150–154] произведены расчеты изменения относительного удлинения для недеформированных ребер жесткости при различных степенях износа, в расчетах величина пролета принята 1,8 м. По этим расчетам видно, что износ незначительно влияет на относительное удлинение ребер жесткости. Следовательно, из этого можно сделать вывод, что для полособульба меньше № 12 и если пролет без распорок, то на изменение редуционного коэффициента влияют только остаточные напряжения.

Используя данные, полученные в [3], построены графики изменения редуционного коэффициента в зависимости от остаточных напряжений для определенных видов полособульбов и несимметричных уголков, наиболее часто применяемых в судостроении. Данные графики представлены на рис. 2 и 3.

Изменение редуционного коэффициента зависит от остаточных напряжений. По графикам, представленным на рис. 2 и 3, можно сделать вывод, что при увеличении остаточных напряжений поправки на редуционный коэффициент растут только до определенной величины, а при достижении суммарного уровня (действительных и остаточных) напряжений, равного единице, сохраняются постоянными. Расчеты показали, что для профилей с малой высотой поправки могут достигать значительной величины $\Delta\varphi_p = 0,1 \div 0,4$.

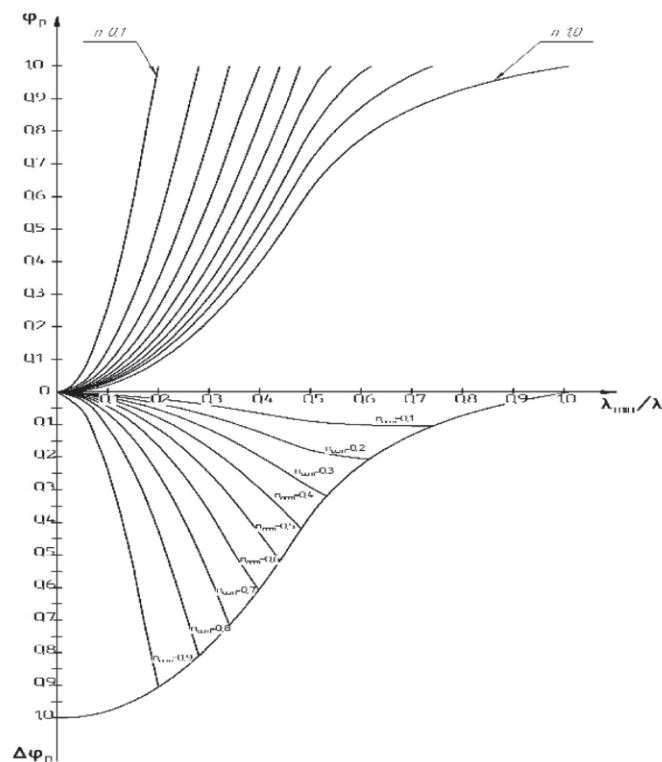


Рис. 1. Изменение редуцированного коэффициента в зависимости от уровня сжимающих напряжений и относительного удлинения

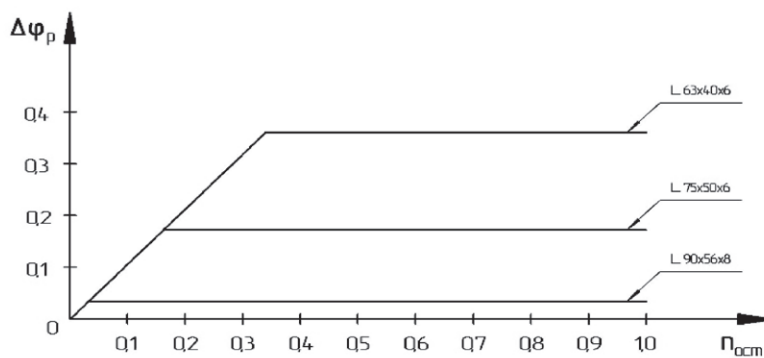


Рис. 2. Изменение редуцированного коэффициента в зависимости от остаточных напряжений для несимметричного уголка

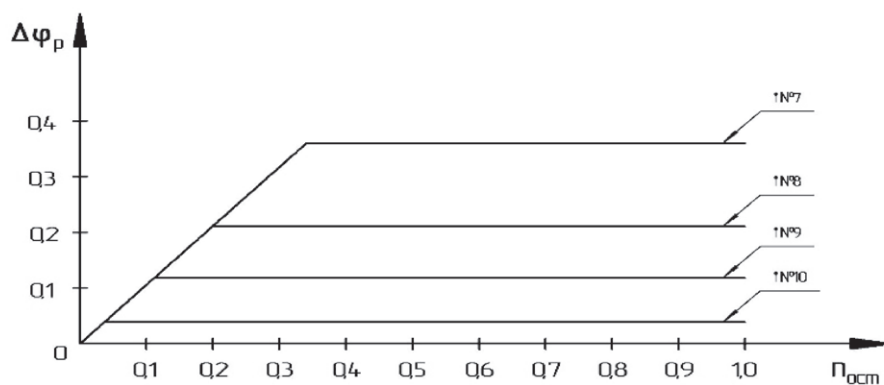


Рис. 3. Изменение редуцированного коэффициента в зависимости от остаточных напряжений для полосульбов

При традиционных методах ремонта остаточные напряжения не учитываются. Это может привести к тому, что на корпус начнут действовать чрезмерные нагрузки, при которых ребра жесткости могут потерять устойчивость.

Список литературы

1. Барышников С. О. Расчет редуционных коэффициентов элементов корпуса судна по Правилам Российского речного регистра / С. О. Барышников // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2010. — Вып. 3 (7).
2. Барышников С. О. Общие остаточные деформации корпусов судов / С. О. Барышников, Т. О. Карклина // Речной транспорт. — 2010. — № 6.
3. Павлов А. В. Влияние износа на относительную гибкость продольных ребер жесткости / А. В. Павлов // Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России: материалы V Межвуз. науч.-практ. конф. асп., студ. и курсантов, 14 мая 2014 г. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2014.
4. Чистов В. Б. Технология ремонта корпусов судов. Конспект лекций / В. Б. Чистов. — Л.: ЛИВТ, 1978. — 66 с.
5. Российский речной регистр. Правила: в 4 т. — 2008. — Т. 2.

УДК 629.12, 697.9

К. А. Васильев,

аспирант,

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ МЕСТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СОВРЕМЕННОМ СУДОСТРОЕНИИ

IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF THE SYSTEM OF LOCAL VENTILATION DURING MECHANICAL PROCESSING OF POLYMER MATERIALS USED IN MODERN SHIPBUILDING

В статье освещены проблемы, возникающие при вентилировании рабочих мест механической обработки композиционных полимерных материалов, применяемых в современном судостроении. Выделены основные негативные факторы образования отходов в виде крупных фрагментов — стружки и пыли разной фракции. Приведены методики контроля и экспресс-испытаний элементов вентиляции. Намечены технические пути решения частных проблем.

The article highlights the problems that occur when the ventilation of workplaces machining of composite polymer materials used in modern shipbuilding. Main negative factors of waste large pieces of shavings and dust with different factions. The above methods of control and rapid testing of the ventilation. Planned technical solutions to particular problems.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, реактопласт, матрица, наномодификатор, конструкция воздуховода, механическая обработка, виды стружки, пыль, система аспирации, пневмотранспорт.

Key words: polymer composite material with a thermosetting matrix, the nano modifiers, duct design, machining, types of chips, dust extraction system, pneumatic transport.

В СОВРЕМЕННОМ судостроении находят широкое применение композиционные полимерные материалы. Так, согласно прогнозам развития отрасли и данным крупнейших судостроительных компаний и научно-исследовательских организаций, таких как ЦНИИ КМ «Прометей», ОАО «Центр технологии судостроения и судоремонта», ОАО «Концерн НПО «Аврора», ОАО ЦМКБ «Алмаз», ФГУП «Крыловский государственный научный центр» и т. п. до 2020 г. подобные композиционные полимерные материалы могут полностью заменить металлы и их сплавы в конструкциях до 35–40 % от общей материалоемкости, а в деталях движительного комплекса и судовых энергетических установок до 15–20 %. Наглядным является пример использования подобных материалов в авиации. По аналитическим данным крупнейших ведущих мировых авиастроительных концернов «Airbus» и «Boeing» уже к 2015 г. металлоемкость конструкций планеров самолетов уменьшится в 1,5–2 раза, а композиционные материалы и гибридные конструкции благодаря своим уникальным физико-механическим характеристикам (см. рис. 1) будут занимать уже до 50 и более процентов от общей материалоемкости летательных аппаратов.

Ведущими научными судостроительными институтами и проектными организациями Российской Федерации изготовлены и прошли эксплуатационные испытания конструкции, полностью выполненные из полимерных композиционных материалов, а также гибридные конструкции судовых надстроек и рамных конструкций под главный двигатель [1, с. 7–8]. Композиционные полимерные материалы наномодифицированные и армированные металлическими конструктивными элементами, а также стекловолокном, широко применяются при изготовлении судовых валопроводов, валов, подшипников скольжения и виброизолирующих соединительных муфт и т. п. Наглядный рост применения модифицированных композиционных углепластиков триботехнического назначения (по данным ЦНИИ КМ «Прометей») в разных отраслях представлен на диаграмме (см. рис. 2).

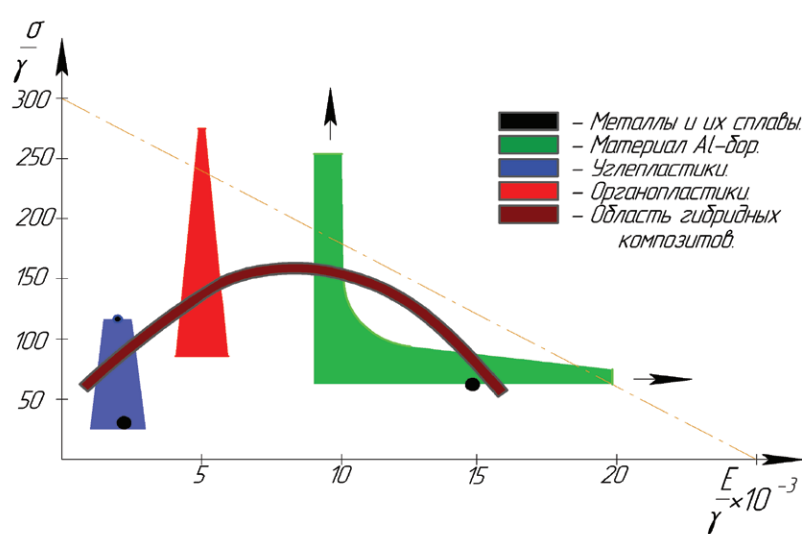


Рис. 1. Диаграмма, характеризующая уникальные физико-механические характеристики конструкционных материалов, применяемых в машиностроении (удельная прочность δ/γ и удельный модуль упругости E/γ в условных единицах конструкционных материалов)

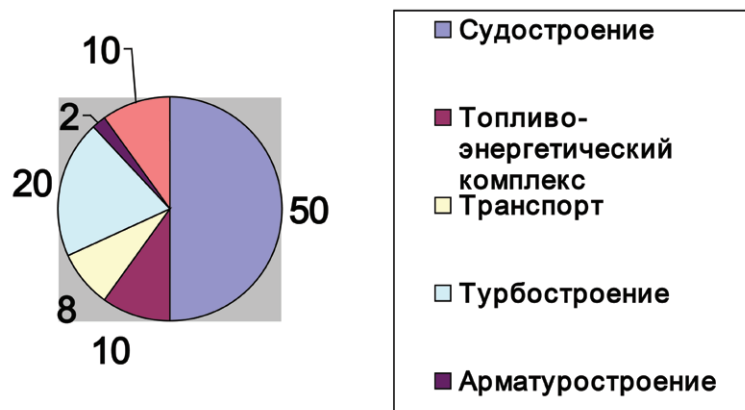


Рис. 2. Диаграмма, иллюстрирующая перспективы использования композиционных углепластиков триботехнического назначения в разных отраслях промышленности и наземного транспорта (в процентном соотношении материалоемкости конструкции изделия в целом по отношению к металлам и их сплавам)

Кроме больших перспектив применения композиционных полимерных материалов в судостроении, имеются существенные недостатки, которые не позволяют достаточно широко применить изделия из этих материалов в данной отрасли машиностроения. Среди основных негативных сдерживающих факторов можно отметить:

— нет единой технологической базы в механической обработке, законов, принципов, технологических приемов и устоявшихся правил. В первую очередь это связано с отсутствием научных школ и опытных кадров в подготовке специалистов;

— нет единого подхода по использованию средств технического и технологического оснащения производства (СТО). Отсутствуют базы применения оборудования, инструмента и рекомендаций по обработке, рекомендации по выбору средств вентиляции и транспортировки отходов производства и пылевидной стружки;

— качество обработки композитных материалов (точность от 7-го качества и ниже, шероховатость от 1,6 до 0,8; 0,32 мкм по параметру микрогеометрии Ra) предъявляет высокие требования к оборудованию и инструменту (класс оборудования повышенной, особой точности, станки пылезащищенной конструкции), что многократно удорожает сами средства технического и технологического оснащения рабочих мест (в среднем от 5 до 10 раз);

— нет единых выработанных подходов к безопасности условий труда, охраны окружающей среды, не решены вопросы утилизации как самих изделий после исчерпания их ресурса, так и отходов производства (стружки и пыли).

Из вышеперечисленных задач решение вопросов экологии и безопасности рабочих мест и окружающей среды на производственных предприятиях являются самыми важными.

В целом, проанализировав ситуацию товарного рынка изделий из композиционных полимерных материалов, можно обозначить наиболее актуальную задачу, связанную с системой местной вентиляции, аспирации, транспортировки и утилизации отходов в виде стружки и пыли реактопластов, образующейся на рабочих местах механической обработки композиционных полимерных материалов.

1. Факторы, определяющие требования к системе вентиляции и утилизации отходов на рабочих местах при механической обработке композиционных полимерных материалов

Среди основных факторов, определяющих основные функциональные характеристики системы локальной вентиляции на рабочих местах обработки композиционных полимерных материалов, можно выделить:

- 1) особенности строения и физико-механические свойства полимерных композиционных материалов (матрица, армирующий материал, модификатор, гибридный каркас);
- 2) тип оборудования, вид процесса формообразования и характер действий оператора на рабочем месте;
- 3) тип исходной заготовки и коэффициент использования материала при изготовлении делали.

В судостроении используется достаточно большое количество разных полимерных композиционных материалов: текстолиты, стеклопластики, углепластики, гибридные конструкции и т. п. В применяемый в судостроении классификатор могут быть включены два класса композиционных материалов — полимерные композиционные материалы, состоящие из неметаллического наполнителя и полимерного связующего, и композиционные металлополимерные материалы, состоящие из наполнителя, полимерного связующего и металлической составляющей.

Для практической механической обработки важны четыре основные составляющие любых полимерных композитов (матрица, армирующий материал, модификатор, гибридный каркас изделия), которые в конечном счете определяют процесс обработки, характер и структуру отходов (стружки и пыли), образующейся при механической обработке подобных материалов.

Например, матрица углепластика обеспечивает монолитность материала, фиксирует форму изделия и взаимное расположение армирующих волокон, распределяет действующие внешние напряжения по объему композита, обеспечивая равномерную нагрузку на волокна и ее перераспределение при разрушении части армирующих волокон. В качестве матрицы выступают, например, эпоксидные, полиэфирные, фенолоформальдегидные смолы, полиамиды, кремнийорганические полимеры (полимерные композиционные углепластики — КУ), синтетические полимеры, подвергнутые пиролизу синтетические полимеры, подвергнутые пиролизу коксованные (КУ) и так называемый пиролитический углерод (пироуглеродные КУ). В табл. 1 приведены свойства термореактивной матрицы (фенолоформальдегидной и эпоксидной смолы) композиционного углепластика.

Таблица 1

Физико-механические свойства материала матрицы КУ

Полимер	Условная плотность, кг/м ³	Максимальная рабочая температура, °С	Прочность*, МН/м ²	
			при растяжении	при сжатии
Эпоксидная смола	90–220	110	—	1,0–2,5
Фенолоформальдегидная смола К-40	190–230	120–130	2,0	0,8
Кремнийорганическая смола	200–400	250–300	0,6	0,8–14,0

Вторым фактором, определяющим характер разрушения при резании композита и образования стружки и пыли, является армирующий материал. Для триботехнических задач в судостроении используется угольное волокно. Данные по свойствам представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства армирующего материала КУ

Свойства	Высокомодульное волокно	Низкомодульное волокно
Модуль упругости, ГПа	300–700	200–250
Прочность при растяжении, ГПа	2,0–2,5	2,5–3,2
Плотность, г/см ³	1,3–2,0	1,3–2,0
Диаметр, мкм	5–50	5–50

Часто для обеспечения особых эксплуатационных свойств, например триботехнических или прочностных, производят модификацию или наномодификацию порошками металлов (Ni, Cu, баббита) или термопластов (тетрофторэтилен — фторопласт 4, полиэтилен высокого и низкого давления дисперсностью 0,1–0,4 мкм). Сами модификаторы расположены в микрообъемах хаотично в композите, создавая локальные зоны с анизотропной структурой. В углепластик порошки металлов попадают в виде глобул — скоплений частиц. Форма частиц осколочная. Размеры глобул для меди составляет 10–15 мкм, никеля — 10–20 мкм. Микрофотографии и фотографии поверхностей трения подобных композитов представлены на рис. 3 (по данным [2; 3, с. 788–793]).

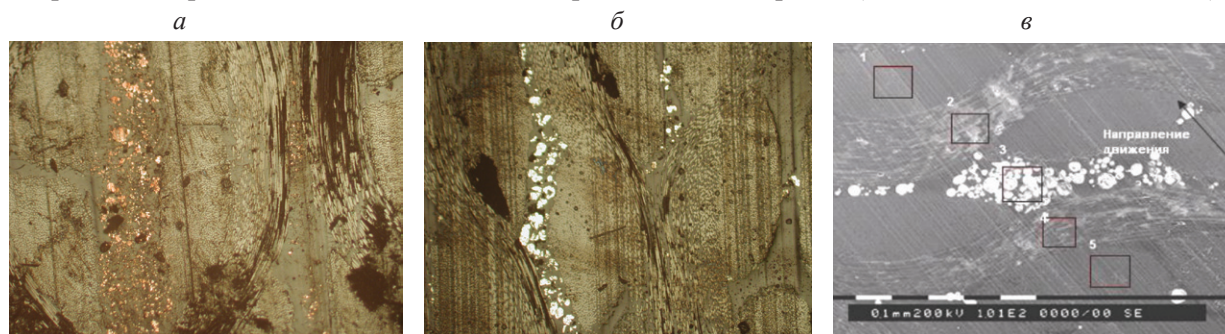


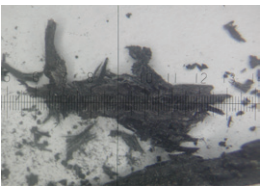
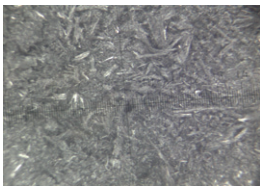
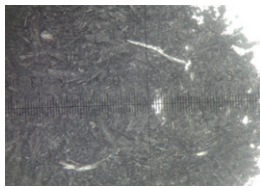
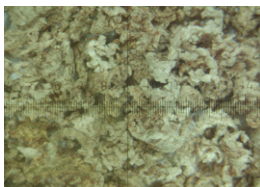
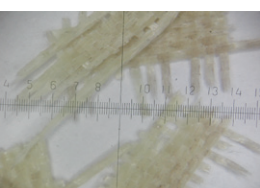
Рис. 3. Микрофотографии поверхностей трения модифицированных углепластиков ФУТ:
а — нанопорошками Cu; б — Ni; в — баббитом Б83 [3]

Конструкторы для решения частных задач используют гибридные конструкции. Так, для снижения коэффициента трения скольжения используют укладку с чередующимся шагом. В этом случае реактопласт чередуется с полимерным термопластичным материалом уже в виде макрообъемов. В других конструкциях, например палубных надстроек [1], композиционный материал может чередоваться со стеклопластиком или с металлическим каркасом, выполненным из алюминиевого или титанового сплава.

В случае модификации (наномодификации) после разрушения резанием композита получаем стружку и пыль, равномерно насыщенную продуктами модификатора в виде металлов и сплавов, более тяжелых и обладающих большей плотностью, чем полимерный композит. При обработке гибридных конструкций кроме мелкой пыли и микрочастиц металлического каркаса, возможен весь типоразмер стружки и пыли от разрушения резанием всей конструкции. Отдельные фрагменты стружки и пыли после обработки резанием заготовок деталей из композитов на современном обрабатывающем центре с числовым программным управлением представлены в табл. 3 (микрофотографии получены на измерительно-вычислительном комплексе МБС 10 с телевизионной приставкой — цифровая USB-видеокамера Altami USB 3150R6 1/2CMOS, увеличение X 16,3).

Для формообразования и получения окончательных размеров и требуемой шероховатости готовых деталей из композиционных полимерных материалов и сборочных единиц применяются практически все существующие виды механической обработки. При этом обработка может производиться, как на универсальных металлорежущих станках (станках с числовым программным управлением с закрытой зоной обработки), так и на специализированном стационарном оборудовании (роботы-манипуляторы и станки портального типа), что характерно для уникальных и крупногабаритных заготовок сложной формы (например, дейдвудные подшипники больших судов, корпусных надстроек и т. п.). Слесарные операции выполняются с применением ручных высокопроизводительных средств механизации (электрических, пневматических или гидравлических машин), оснащаемых специальным режущим инструментом. При механической обработке композиционных полимерных материалов применяются следующие виды лезвийной механической обработки: точение, фрезерование, сверление, гидроабразивная резка, нарезание резьбы, а также абразивной обработки в виде плоского шлифования, круглого шлифования операций финишной обработки алмазным инструментом.

Фрагменты стружки и промышленной пыли после механической обработки резанием разных марок полимерных композиционных материалов, применяемых в судостроении

№ п/п	Марка и наименование композиционного полимерного материала	Образец стружки композиционного полимерного материала		Образец промышленной пыли (до 10 мкм)
		Крупные фрагменты (более 10 мм)	Мелкие фрагменты (от 0,1 до 1,5 мм)	
1	Углепластик УГЭТ			
2	Текстолит ПТК ГОСТ 5-78			
3	Стеклотекстолит СТЭФ ГОСТ 12652-74			

В настоящее время обработка заготовок из композитов производится на станках типа «обрабатывающий центр», где имеется концентрация операций. Поскольку обработка на одном станке ведется разным инструментом, то количество и качество стружки и пыли, продуктов деструкции композитов может быть разным, это также предъявляет особые требования к системе местной вентиляции.

В судостроении широко используются методы получения исходных заготовок: намотка, прессование, литье, экструзия и пр., позволяющие получать заготовки из полимерных композиционных материалов относительно высокой до 7,8 квалитетов точности с низкой шероховатостью поверхности, а в местах разъема пресформы до 6,3 мкм по параметру Ra. Однако условия их установки в конструкцию, сборка, стыковка и крепление во всех случаях требуют существенного объема механической обработки, связанной с удалением слоя материала. Особенно механическая обработка актуальна для обрабатываемых заготовок, имеющих сопрягаемые поверхности сложной конфигурации, а также поверхности триботехнического назначения, получение требуемого качества которых (точности и шероховатости) невозможно на заготовительных операциях. Как правило, предварительные заготовки из композиционных материалов для деталей триботехнического назначения имеют очень большие припуски снимаемого материала. В отдельных случаях количество материала композита, которое уходит в стружку, может достигать до 80 % от общего объема заготовки. Повышенные объемы стружки и пыли требуют более мощной системы местной вентиляции и вытяжки, чем при работе с ручным инструментом на операциях слесарной обработки.

2. Система местной вентиляции и трубопроводный транспорт утилизации отходов продуктов механической обработки полимерных композиционных материалов

Систему местной вентиляции, аспирации и трубопроводный транспорт (далее — СМВ) можно отнести к числу сложных [4]. Понятие «сложная система» является всеобъемлющим, оно используется при описании различных систем (технических, энергетических, биологических, социальных и пр.), основные положения сформулированы в работе Н. П. Бусленко [4]. Однако дать общее определение сложной системы не представляется возможным. В работе Дж. Касти [5] дано определение понятия «сложность», которое характеризуется: математической структурой неприводимых компонент (подсистем) и способом, которым эти компоненты связаны между собой. Согласно данной теории различают статическую и динамическую сложность, связанные с поведением системы во времени. Беря за основу данный подход, СМВ, используемая при обработке композиционных материалов, является статически (многокомпонентной, многосвязной, с большим числом переменных фиксированных промежуточных состояний и пр.) и динамически сложной, так как ее поведение зависит от изменения ряда параметров процесса резания во времени. В дальнейшем при рассмотрении СМВ термин «сложная система» будет термином «система».

Одной из важнейших характеристик любой сложной системы, в том числе СМВ, является ее структура. Так, под структурой системы СМВ понимается совокупность элементов и связей между ними, которые определяют ее состояние, исходя из распределения функций и целей, поставленных перед системой.

Рассмотрим структурные особенности СМВ в целом. Главной особенностью является то, что она не автономна и не замкнута. Действительно, система СМВ взаимодействует через технологическую систему процесса формообразования изделий из композиционного материала, самой системы вентиляции, аспирации и элементов системы трубопроводов, где замыкание системы происходит через продукты отходов производства (стружку, пыль и сопутствующие продукты деструкции композита). Через транспортируемую среду происходит замыкание системы и, как следствие, обеспечение наибольшей эффективной ее работоспособности в целом.

Автономность СМВ в целом является условной, так как в некоторых случаях приходится учитывать воздействие внешних источников (условно внешней среды) через элементы системы или отдельные узлы, в зависимости от компоновки.

При разработке моделей СМВ в целом изначально может использоваться метод, который называется интуитивно-топологическим. Суть его заключается в достаточно произвольном (то есть допускающем многовариантность решений) расчленении системы на отдельные инерционные блоки, соответствующие простым моделям, математическое описание которых известно. Задача ставится так, чтобы на основе характеристик, полученных при исследовании подсистем меньшей размерности, построить динамические характеристики сложной системы. Такая задача составляет предмет исследования науки *диакоптики*, развитой Г. Кроном [6]. Можно отметить, что декомпозиция в задачах большой размерности идейно сформировалась за последние 30 лет как раздел *теории больших систем* [4; 6].

Отметим, что адекватность модели исследуемой системы окончательно может быть установлена только на основе тщательно подготовленного на высоком техническом уровне инженерного эксперимента [7]. При решении частных задач и апробирования выбранных моделей нескольких уровней для отдельных подсистем весьма полезным оказывается математическое (машинное) моделирование, включая имитационное моделирование и методы программной модификации [9].

Таким образом, для адекватного описания сложной СМВ необходимо осуществить следующие этапы:

- 1) создание модели процесса — математическое описание;
- 2) анализ неопределенностей и формализация понятия цели (формирование целевой функции, критерия и т. п.);
- 3) решение возникших оптимизационных и сопутствующих математических задач.

Существуют два основных способа управления сложными процессами, в том числе процессами, протекающими в СМВ при механической обработке композиционных материалов: активное управление и пассивное. Активное управление основано на изменении потока энергии и может быть двух видов: управление процессами за счет *внесения дополнительной энергии* от источника извне и за счет систем *введения обратных связей*, которые изменяют энергетические потоки внутри системы. Все остальные виды управления классифицировать сложно и можно условно отнести к *пассивным* видам управления. К пассивным способам управления можно отнести *структурно-параметрический синтез*. Структура СМВ фиксирована для каждого рабочего места, а изменяться могут только параметры системы (например, режимы обработки композиционного материала, процесс формообразования, инструмент и пр.).

На всех этапах от проектирования и эксплуатации СМВ возникают противоречивые требования:

- необходимость осуществления за *минимальное время* наибольшей производительности при наименьших энергозатратах;

- необходимость *максимальной износостойкости* элементов трубопроводной системы вентиляции в режиме нормальной эксплуатации, определяющей главный экономический показатель (например, период наработки на отказ);

- *безопасность системы* в случае аварийной ситуации: при резком увеличении удаляемого материала с заготовки и одновременно максимальных нагрузках в переходных зонах.

Для успешного выполнения данных требований требуется *постановка задачи оптимизации*. Такая задача может быть как *однокритериальной* с различного вида ограничениями, причем глобальным критерием является экономический (например, эффективность удаления продуктов разрушения материала из зоны резания, энергопотребление), так и *многокритериальная*, что усложняет решение. В общем виде постановка задачи оптимизации установившегося процесса перемещения стружки и пыли по трубопроводам может быть представлена как задача оптимального синтеза с векторным критерием оптимальности на основе локальных критериев [7].

При моделировании процессов вентиляции и перемещения отходов по пневмотранспортным системам может возникнуть ряд неопределенностей:

- неопределенность целевой функции (неопределенность цели оптимизационного исследования);

- неопределенность знаний о преобладающих процессах в зоне обработки и выборе в связи с этим достоверных моделей, описывающих процесс;

- неопределенность и непредсказуемость поведения выбранного сочетания материалов «режущий инструмент–заготовка», режимов обработки и т. п.

Задачу пассивного управления СМВ можно решать, используя динамические модели процесса вентиляции и транспортирования по трубопроводу пыли и стружки, как математическую задачу оптимального управления [8]. Однако для рассматриваемых систем решение такой задачи является достаточно сложным и не всегда оправданным. В таких случаях необходимо рассматривать *квазиоптимальные модели*, а для некоторых условий работы рассматривать так называемые *рациональные системы*.

Одним из перспективных подходов решения указанных задач управления сложными системами является метод *программной модификации*, разработанный Д. В. Васильковым [9]. Этот метод реализован применительно к решению задач обеспечения производительности и эффективности работы технологических систем механической обработки заготовок. В дальнейшем данный метод был применен В. М. Петровым к решению задач управления параметрами сложных трибологических систем [10]. В случае рассмотрения СМВ метод программной модификации заключается в следующем: при определенных допущениях (например, максимальной эффективности работы СМВ) рассматривается совокупность критериев (параметров или показателей), определяющих состояние сложной системы вентиляции и удаления стружки, и на их основе производится

количественная оценка основных статических и динамических свойств системы с учетом возможной локальной модификации отдельных характеристик.

Применительно к решению задач СМВ при механической обработке композиционных полимерных материалов метод программной модификации можно представить в виде многоуровневого алгоритма.

На *первом уровне* задаются параметры на основе анализа проектируемой или исследуемой СМВ $F_{1к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$. При этом можно выделить *неизменяемые* показатели (требования к функциональным характеристикам процесса вентиляции, пневмотранспорта и аспирации, определяющие основные скоростные $V(t)$, давление $P(t)$, расход $Q(t)$ тому подобные особенности окружающей среды (наличие агрессивных сред, излучений и т. п.) и *изменяемые* параметры (физико-химические свойства инструментального и обрабатываемого материалов, физико-химические свойства конструкционных материалов, используемых при изготовлении системы вентиляции, покрытия и т. п.). При этом изменяемые параметры делятся на *фиксируемые* (в данном процессе) и *варьируемые* в процессе оптимизации.

На *втором уровне* необходимо классифицировать вид композиционного материала и характер разрушения при выбранном способе механической обработки. Самое главное — это определить габаритные размеры и фракционный состав части. Все это можно осуществить:

— рассмотрев состав композиционного материала $F_{21к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, а именно: матрица, армирующий материал, наличие модификатора и каркаса гибридной конструкции, о чем говорилось выше;

— проанализировав способ формообразования изделия $F_{22к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, вид обработки (механическая лезвийная, механическая абразивная, лазерный или гидроабразивный раскрой и т. п.);

— проанализировав характер химического и физического взаимодействия частиц деструкции композиционного материала с элементами технологической системы (станок–инструмент–заготовка–технологическая оснастка), трубопроводного транспорта и системы аспирации $F_{23к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$.

На *третьем уровне* необходимо определить вид аспирационной системы, характерный для исследуемого процесса механической обработки и применяемого технологического оборудования $F_{3к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ (см. рис. 4).

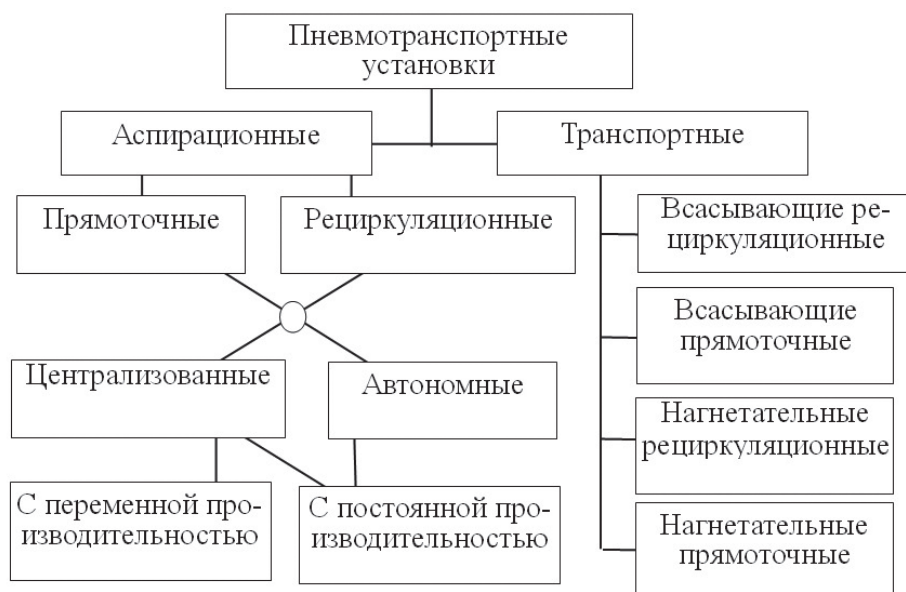


Рис. 4. Схема классификации аспирационных систем, применяемых для рабочих мест механической обработки композиционных полимерных материалов

На данном этапе также необходимо выбрать принципиальную схему аспирационных систем: прямоточную централизованную; рециркуляционно-централизованную; прямоточную автономную. Наиболее приемлемым является вариант прямоточно-автономной, поскольку позволяет эффективно удалять отходы с различных рабочих мест, на которых осуществляется обработка разных полимерных материалов, отличных по своим физико-химическим свойствам и составу.

На *четвертом уровне* необходимо выбрать $F_{4к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ схему пневмотранспортной системы для конкретного рабочего места в зависимости от аэродинамических условий работы узла загрузки и характера циркуляции воздуха. Так, в промышленности используют транспортные системы: всасывающие рециркуляционные, всасывающие прямоточные, нагнетательные рециркуляционные и нагнетательные прямоточные. Выбор той или иной системы зависит от характера частиц, их физической и химической активности, загазованности продуктами деструкции композиционного материала при разрушении резанием и наличие паров жидкой фазы.

На *пятом уровне* необходимо рассматривать физико-химические, реологические и теплофизические свойства продуктов деструкции композиционных материалов (крупных фрагментов — стружки и фракционного состава пыли) $F_{5к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ и характер взаимодействия с элементами трубопроводов системы вентиляции.

На *шестом уровне* необходимо выбрать инженерные решения, произвести компоновку и подобрать конструкционные материалы и протекторные покрытия $F_{6к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ элементов трубопроводов СМВ.

На *седьмом уровне* необходимо выбрать по кинематическому признаку схему испытания аспирационной системы и элементов пневмотранспорта $F_{7к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$: стенды для натурных испытаний, а также измерительные, аппаратные и инструментальные средства контроля; средства оценки характеристик эффективности и работоспособности системы вентиляции, аспирации и пневмотранспорта.

На *восьмом уровне* для эффективной работы спроектированной СМВ выработать дополнительные условия эффективного управления отдельными элементами системы вентиляции за счет использования физико-химических характеристик новых конструкционных материалов и наномодифицированных протекторных покрытий элементов трубопроводов аспирации и вентиляции и т. п. $F_{8к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$.

Заключение

В качестве вывода можно отметить, что на этапах проектирования технологических процессов механической обработки заготовок деталей из композиционных материалов важно заранее оценивать и предвидеть все возможные факторы (технические, технологические, эргономические, экологические), связанные с негативным влиянием избыточного образования отходов производства (стружки и пыли) на рабочих местах. То есть на этапе проектирования требуется комплексный подход к разрабатываемой системе местной вентиляции, аспирации и перемещения отходов по трубопроводной системе.

Решение задач вентиляции также позволит существенно повысить производительность и эффективность работы оборудования, поскольку сократятся простои, связанные с неплановой остановкой оборудования и очисткой рабочей зоны и рабочего места оператора от канцерогенной стружки и пыли. Кроме того, промышленные участки и цеха, на которых производится обработка полимерных композиционных материалов, приблизятся по своим условиям к обычным механообработывающим производствам и появится возможность использования на операциях механической обработки стандартного оборудования, используемого при обработке заготовок из металлов и их сплавов.

Список литературы

1. Булкин В. А. Применение перспективных композиционных материалов в надводном судостроении / В. А. Булкин, Н. Н. Федоню, А. В. Шляхтенко // Морской вестник. — № 1 (45). — 2013.
2. Пат. 2188834 РФ от 10.09.2002 г. Антифрикционная композиция / Рыбин В. В., Пономарев А. Н., Петров В. М., Абозин Ю. В., Бахарева В. Е., Малинок М. В., Никитин В. А.
3. Морфология контактной поверхности и трибологические характеристик углепластиков / И. И. Курбаткин [и др.] // Изв. Самарского научного центра РАН. — 2011. — Т. 13, № 4 (3).
4. Бусленко Н. П. Лекции по теории сложных систем / Н. П. Бусленко. — М.: Сов. радио, 1973. — 440 с.
5. Касты Дж. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы: пер. с англ. / Дж. Касты. — М.: Мир, 1982. — 216 с.
6. Крон Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика): пер. с англ. / Г. Крон. — М.: Наука, 1972. — 544 с.
7. Вейц В. Л. Вопросы динамики машин: дис. д-ра техн. наук / В. Л. Вейц; ЛПИ. — Л., 1966. — 330 с.
8. Брайсон А. Прикладная теория оптимального управления: пер. с англ. / А. Брайсон, Ю-Ши Хо. — М.: Мир, 1972. — 544 с.
9. Васильков Д. В. Теория и практика оптимизационного проектирования механической обработки маложестких заготовок: дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 / Д. В. Васильков; ГТУ. — СПб., 1997. — 426 с.
10. Петров В. М. Управление процессами контактного взаимодействия элементов трибосопряжения машин и технологических систем путем применения активных сред: дис. д-ра техн. наук: 05.02.04 / В. М. Петров; ПИМАШ. — СПб., 2004. — 335 с.

ЛОГИСТИКА И ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 656.6

А. А. Давыденко,
канд. экон. наук,
Росморречфлот

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ПОРТОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОСУДАРСТВ — ЧЛЕНОВ ЕДИНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

FORECAST OF PORT INFRASTRUCTURE STATES — MEMBERS OF COMMON ECONOMIC SPACE

Рассмотрены возможные сценарии развития отечественной портовой инфраструктуры, обусловленные процессами транспортной интеграции государств-членов единого экономического пространства — России, Беларуси и Казахстана. Определены перспективы российского транзитного потенциала. Рассмотрены проблемы реконструкции отдельных портов Балтийского, Черноморского и Каспийского бассейнов.

In article possible scenarios of development the domestic port infrastructure due to transport integration processes of the Member States of a single economic space — Russia, Belarus and Kazakhstan. The prospects of the Russian transit potential. The problems of reconstruction of the individual ports of the Baltic, Black and Caspian Sea basins.

Ключевые слова: единое транспортное пространство, водный транспорт, портовая инфраструктура, экспортно-импортные грузопотоки.

Key words: Common transport space, water transport, port infrastructure, export-import cargo.



ПРОЦЕСС формирования единого транспортного пространства государств-членов единого экономического пространства (ЕЭП) — Российская Федерация, республика Беларусь, республика Казахстан — предполагает возможность изменения конфигурации сложившихся грузопотоков. Применительно к водному транспорту в качестве корректируемых грузопотоков выступают экспортно-импортные грузопотоки Республики Беларусь и Республики Казахстан ввиду того, что общее меридиональное направление внутренних водных путей описываемого пространства не предполагает изменение существующих российских грузопотоков. Изменения грузопотоков с необходимостью обуславливают развитие соответствующих портовых структур и более полное использование российского транзитного потенциала.

Перспективы развития портовой инфраструктуры

Балтийское направление

В настоящее время потенциал к дальнейшему развитию по перевалке грузов рассматриваемых номенклатур имеет многофункциональный **Морской торговый порт Усть-Луга**. Уже сейчас он успешно конкурирует с другими портами на Балтике, а за прошедший 2013-й год его грузооборот вырос на 36 %. Существующие терминалы в Усть-Луге построены по современным техническим стандартам.

Порт Усть-Луга строится как универсальный порт. Терминалы и профильные зоны различного назначения будут оказывать услуги по перевалке и дополнительной обработке более 20 номенклатурных категорий грузов. Благодаря применению современных технологий и оборудования терминалы способны выдерживать конкурентные сроки обслуживания.

В настоящее время в порту Усть-Луга работают 11 терминалов: комплекс по перегрузке угля, универсальный перегрузочный комплекс, терминал по перевалке технической серы, автомобильно-железнодорожный паромный комплекс, многопрофильный перегрузочный комплекс «Юг-2»,

лесной терминал, контейнерный терминал, терминал перевалки нефти, терминал перевалки нефтепродуктов, нефтебаза «Усть-Луга», терминал «Новая Гавань».

Комплексный проект имеет статус приоритетного инвестиционного проекта Северо-Западного федерального округа РФ и осуществляется на принципах государственно-частного партнерства. В порту имеется потенциал для расширения перечня специализированных терминалов. Например, ОАО «Газпром» рассматривает порт Усть-Луга как перспективный вариант для размещения своего терминала для сжиженного природного газа. В настоящее время ОАО «Газпром» приняло решение о строительстве ветки газопровода мощностью 7 млрд кубометров в год до промышленной зоны в Усть-Луге.

Усиление внешних железнодорожных подходов к порту Усть-Луга осуществляется в рамках Инвестиционной программы ОАО «Российские железные дороги» по линии Мга – Гатчина – Веймарн – Усть-Луга в обход перегруженного петербургского железнодорожного узла. Реконструкция предусматривает строительство двухпутной железной дороги на всем протяжении, удлинение станционных путей на промежуточных станциях до 1050 м для организации движения большегрузных составов, полную электрификацию, строительство дополнительных тяговых подстанций, а также строительство централизованной системы блокировки и связи.

Припортовый железнодорожный узел «Лужская» будет состоять из семи станций. На сегодняшний день в эксплуатацию введены три: Лужская-Северная, Лужская-Южная, Лужская-Нефтяная. Завершено проектирование первой очереди станции Лужская-Генеральная, ведется проектирование станции Лужская-Сортировочная. Завершается строительство станции Лужская-Газовая. Кроме этого в Северном районе порта запланировано строительство станции Лужская-Восточная. В перспективе припортовый железнодорожный станционный комплекс порта Усть-Луга станет самым крупным и современным в Европе.

При выходе на полную мощность грузооборот порта Усть-Луга составит 180 млн т в год. При этом около 65% от общего объема грузов планируется перегружать по железной дороге.

Государство заинтересовано в завершении строительства порта, так запуск в сентябре 2007 г. автомобильно-железнодорожных паромов, обслуживающих линию Усть-Луга – Балтийск, был признан одним из элементов национальной транспортной программы.

Налоговая база всех предприятий, ведущих бизнес в порту Усть-Луга, после пуска третьей очереди по оценкам специалистов составит порядка 1 млрд руб. в год. Кроме этого признается, что весь проект кроме экономических выгод имеет и существенный политический аспект. Он предназначен для снятия зависимости торговли Российской Федерации с дальним зарубежьем от транзита через территории третьих стран.

Южное направление

Для перевалки сырьевых грузов у ведущих российских портов — **Новороссийского** и **Туапсинского** — перерабатывающие мощности в настоящее время используются на пределе; располагаясь в городской зоне, они фактически исчерпали возможности по наращиванию мощностей в связи с инфраструктурными и рельефными ограничениями. Хотя эти два глубоководных порта в последние годы заметно модернизировали перегрузочное и складское оборудование, они не способны переваливать нарастающий объем экспортных грузопотоков, которые ранее отправлялись на Украину. Увеличивать объемы переработки в пределах существующей специализации имеют возможность небольшие российские порты **Азов, Ейск, Кавказ, Ростов, Таганрог, Темрюк**, однако, с одной стороны, суммарный резерв мощности оказывается незначительным и, с другой стороны, глубины не позволяют обработку судов со значительными осадками (типа «Афрамакс»).

В этой связи Россия официально презентовала проект «Создание сухогрузного района морского порта **Тамань**», обладающего в перспективе мощностью свыше 100 млн т, который был включен в ФЦП «Развитие транспортной системы России (2010–2015 гг.)». Виды деятельности — перевалка грузов на экспорт. Приоритетные грузы – нефть и нефтепродукты, сжиженные углеводородные газы (СУГ), аммиак, зерно.

1-я очередь зернового терминала мощностью 5 млн т в порту Тамань открыта в сентябре 2011 года. Владелец зернового терминала – ЗАО «Тамань-инвест». Управляющая компания — ООО «Зерновой терминальный комплекс “Тамань”». Прием судов под погрузку зерновых культур осуществляется на причале длиной 2600 м, оборудованным погрузочными машинами компании NEUERO. Максимальная осадка у причалов достигает 12,1 м, позволяющая принимать суда грузоподъемностью до 60 000 т.

В июле 2012 г. запущен в эксплуатацию перегрузочный комплекс нефти, нефтепродуктов и СУГ ЗАО «Таманьнефтегаз». На середину 2013 г. терминал практически достиг проектных объемов перевалки нефти — 600 тыс. т в месяц. В июле 2013 г. начались отправки на экспорт мазута. Терминал позволяет принимать суда до 10 500 т дедвейтом.

В состав проекта планируется включить следующие перспективные комплексы и терминалы: 2 контейнерных перегрузочных комплекса, 2 комплекса по перегрузке угля, терминал минеральных удобрений и серы, терминал по перевалке железной руды и железорудных окатышей, комплекс по перегрузке стали, комплекс по перегрузке зерна.

В июне 2011 г. в рамках совещания по развитию транспортной инфраструктуры Краснодарского края были официально оглашены предполагаемые объемы и сроки инвестиционных вложений в порт Тамань: до 2020 г. в проект предполагается вложить более 200 млрд руб. Государственные инвестиции в проект составят 50 млрд руб., частные — в 3 раза больше.

Контракт на проектирование заключен с ОАО «Ленморниипроект». Сформирована компоновочная схема порта. По окончании изыскательских и проектных работ должно начаться активное строительство, которое продлится до 2020 г. Объекты федеральной собственности в порту будут закончены к 2016 г.

Параллельно с ними частные инвесторы получают возможность реализовать свою часть объектов портовой инфраструктуры, а государство реализует функции по созданию железнодорожных подходов. В настоящее время на станции «Разъезд 9-й километр» введены в эксплуатацию 11 приемоотправочных путей длиной более 15,8 км, уложен 81 стрелочный перевод, 27 км контактной сети. Завершено переключение устройств СЦБ на новые транзитные и приемоотправочные паркы в рамках завершающего второго этапа строительства. Окончательный ввод в эксплуатацию произведен в январе 2014 г. На вновь созданной сортировочной станции грузы будут распределять на порты Новороссийск и Тамань. На этот инфраструктурный проект государство до 2013 г. потратило 450 млн долл.

Также запланировано строительство железнодорожного обхода Краснодарского транспортного узла с тем, чтобы расшивка всех «узких мест» на железной дороге была закончена к моменту запуска нового порта.

О своем желании построить терминал в порту Тамань заявили 9 российских инвесторов: ООО «УК «Металлоинвест» (перевалка железорудного концентрата), ГК «Базэл» (перевалка накатных грузов), ОАО «Еврохим» (перевалка минеральных удобрений), UCL Port B.V. (перевалка угля, металлов и контейнеров), ОАО «Объединенная зерновая компания» (перевалка зерновых), ОАО «СУЭК» (перевалка угля), Global Ports Investments PLC и НКК (перевалка контейнеров), «Газпром экспорт» (перевалка нефтепродуктов).

По оценкам Минтранса России объемы перевалки грузов порта Тамань к 2025 г. смогут составить от 65 до 94 млн т.

Порт **Актау** в Республике Казахстан представляет существенные перспективы к наращиванию транзитных мощностей.

Реконструкция обеспечила порт тремя универсальными причалами для обработки генеральных и навалочных грузов, одним причалом для экспорта зерна, перегрузки тяжеловесов и обработки судов типа «ро-ро», общей протяженностью новых причалов 550 м, и возможностью одновременной обработки 4 судов. В порту имеется паромный комплекс, приспособленный для наката-выката железнодорожных вагонов на специализированные паромы. Наличие четырех нефтеналивных причалов дает возможность одновременной обработки 4 танкеров с водоизмещением до

12 тыс. т. Порт обновил оборудование, дающее возможность перевалки всех видов генеральных и насыпных грузов и грузов в контейнерах.

Прогнозные оценки специалистов свидетельствуют, что контейнерный поток в направлении Европа – Азия будет сконцентрирован на трансокеанском маршруте. Основные грузоотправители сосредоточатся на отправке морем. В свою очередь развитие контейнерного терминала в порту Актау открывает перспективы для привлечения новых грузопотоков из Европы транзитом через Азербайджан и Грузию, из ОАЭ транзитом через Иран, а также грузов, транспортируемых из Китая и Юго-Восточной Азии транзитом через Республику Казахстан в страны Европы.

Казахстан является производителем и экспортером значительного количества зерна высокого качества, большая часть которого выращивается на севере страны. Ежегодный экспорт зерна варьируется от 3 до 5 млн т. Пропускная способность действующего на территории порта Актау зернового терминала ТОО «Ак Бидай-Терминал» – 600 тыс. т в год.

Полное восстановление паромного комплекса позволило увеличить общий объем и расширить ассортимент обрабатываемых грузов наряду с действующими пассажирскими перевозками и перевозками транспортных средств, обеспечиваемыми паромной линией Актау – Баку – Ноушехр. В целях реализации соглашений, достигнутых в ходе переговоров Мангистауской и Астраханской областных администраций, портом Актау разрабатывается проект открытия паромной линии на участке Астрахань – Актау. С 29 мая 2002 года начала действовать автопаромная линия Актау – Оля.

Прогнозируемые сценарии корректуры портовых грузопотоков

Взаимодействие государств-членов ЕЭП в области водного транспорта преследует достижение двух основных целей:

- снижение транспортной составляющей стоимости перевозимых экспортных и импортных грузов государств-членов ЕЭП;
- максимальную реализацию транзитного потенциала единого транспортного пространства.

Как показал произведенный анализ, в качестве системообразующих грузопотоков водного транспорта, имеющих возможность смены (корректировки) пространственной конфигурации, а, следовательно, и портов перевалки, целесообразно рассматривать экспортные грузопотоки государств-членов:

- Республики Беларусь — калийные удобрения; нефть и нефтепродукты; продукция машиностроения; контейнерные грузы;
- Республики Казахстан — нефть и нефтепродукты; цветные металлы; черные металлы; руды; зерновые культуры; контейнерные грузы.

Географическое расположение внутренних водных путей и портов определяет в качестве приоритетных развитие транспортной инфраструктуры Северо-Западного, Приволжского и Южного федеральных округов Российской Федерации, Мангистауской области Республики Казахстан.

В зависимости от сочетания политических, экономических и технологических факторов, определяющих возможность и степень интеграции и корректировки грузопотоков, а также технические возможности транспортной инфраструктуры, определяются возможные сценарии корректуры портовых грузопотоков в государствах-членах ЕЭП:

1) *Инерционный сценарий* предусматривает приоритет экономических факторов развития при минимальной реконструкции (строительстве) объектов инфраструктуры. Сценарий предусматривает существенную переориентацию экспортного грузопотока из Республики Казахстан на существующие и перспективные портовые мощности Южного федерального округа Российской Федерации.

2) *Форсированный сценарий* предусматривает приоритет политических факторов развития при существенной реконструкции (строительстве) объектов инфраструктуры. Сценарий

предусматривает существенную переориентацию экспортного грузопотока из Республики Беларусь на перспективные портовые мощности Северо-Западного федерального округа Российской Федерации и системное осуществление экспорта и транзита грузов из Республики Казахстан через портовые мощности Южного федерального округа Российской Федерации, а также посредством Единой глубоководной системы Европейской части Российской Федерации (коридор «Север – Юг»).

Реализация указанных целей предусматривает решение институциональных задач:

1. Определение форм средне- и долгосрочного взаимодействия государств-членов и частных предпринимателей (государственно-частного партнерства) для решения системно значимых задач по реконструкции и строительству транспортной инфраструктуры — терминальных комплексов, подъездных путей наземных видов транспорта, внутренних водных путей, — обеспечивающих техническую возможность осуществления как переориентации экспортных грузопотоков, так и транзита.

2. Формирование разрешительной системы для осуществления пользования единым транспортным пространством в части, касающейся морского и внутреннего водного транспорта, определяющей, в том числе:

— разработку и принятие интегрированных в международную систему права межгосударственных норм (стандартов) по обеспечению безопасности на внутренних водных путях и предотвращению загрязнения с судов окружающей среды, а также определение порядка решения юридических вопросов, связанных с судоходством государств-членов на внутренних водных путях;

— определение степени свободы практики транспортных судов под флагами государств-членов в портах, исходя из приоритета возможности ввоза, вывоза и свободного транзита грузов посредством внутренних водных путей, и исключая каботажные перевозки (между портами государства-члена судами под флагами иных государств-членов);

— создание единой межгосударственной системы подготовки и аттестации моряков государств-членов для плавания по внутренним водным путям;

— обеспечение единой тарифной политики в отношении судов под флагами государств-членов при пользовании инфраструктурой внутренних водных путей, морских и речных портов;

— разработку и реализацию механизмов обеспечения национального режима в области использования буксирной тяги баржебуксирных составов;

— содействие созданию объединенных компаний-операторов судов, разработка унифицированных для государств-членов форм грузовых перевозочных, транспортно-экспедиторских и товаросопроводительных документов.

Регулирование правоотношений в сферах внутреннего водного транспорта и морского транспорта будут регулироваться отдельными международными договорами и соглашениями в рамках Союза.

Инерционный сценарий

Республика Беларусь

Основным транзитным партнером остается Латвия, через территорию которой проходит до 80 % всех грузов, экспортируемых из Беларуси морским путем (**Рижский Свободный Порт** — нефтепродукты (4–5 млн т в год), древесина, пиломатериалы, продукция машиностроения (заводов МАЗ, БелАЗ — накатные грузы); **Вентспилс** — нефтепродукты (до 5 млн т в год Новополоцкого НПЗ); **Лиепая** — нефтепродукты).

Через литовский порт **Клайпеда** продолжается экспорт калийных удобрений («Беларуськалий» — около 6 млн т в год) и нефтепродуктов (Мозырского НПЗ и завода «Нафтан», г. Новополоцк — около 2,5 млн т в год).

При благоприятной в перспективе тарифной политике Украины (введении льготных сборов за шлюзование судов, следующих в режиме заграничного плавания, за прохождение Херсонского

морского и Бугско-Днепровского лиманского каналов, маячного) осуществляются перевозки экспортных калийных удобрений баржебуксирными составами по внутренним водным путям Белоруссии от **Мозыря** до **Киева** и далее со сменой тяги по маршруту **Киев – Днепропетровск – Херсон – Николаев** (до 150 тыс. т за навигацию).

С преобладанием политических факторов развития производится диверсификация грузопотока экспортных грузов путем переориентации на российский порт **Усть-Луга**:

— нефтепродуктов завода «Нафтан», г. Новополюцк – до 2–3 млн т в год на терминалы БТС-2 и «Роснефтебункер»;

— крупногабаритной накатной техники (заводов МАЗ, БелАЗ), контейнеров и проектных грузов — на многопрофильный перегрузочный комплекс ЮГ-2.

Необходимые реконструкция и развитие терминалов в порту Усть-Луга производятся на основе государственно-частного партнерства.

Нефтепродукты Мозырского НПЗ в период навигации транспортируются по внутренним водным путям (реки Припять, Днепр) в Украину (г. Киев) с использованием технологии применения наливных судов-накопителей.

В целях реализации транзитного транспортного потенциала осуществляется реконструкция воднотранспортного соединения Черного моря, Днепра и Припяти через Днепро-Бугский канал с Вислой и Одером.

Республика Казахстан

Приоритетность экономических факторов развития обуславливает переориентацию ранее действовавших экспортных грузопотоков из портов Украины (по номенклатурам):

— основные объемы нефти перегружались в Одесском порту (на Италию, Китай, Турцию) — около 4,8 млн т в год и Феодосийском морском порту — около 1,67 млн т в год;

— нефтепродукты перегружались в Одесском порту — около 1,15 млн т в год, в Севастопольском рыбном порту — около 75 тыс. т в год, Феодосийском морском торговом порту — около 44 тыс. т в год;

— химические грузы и сода (в основном на Бермудские острова) перерабатывались в Ильичевском морском торговом порту — около 1,35 млн т в год;

— уголь перегружался в Мариупольском порту (на Грецию) — около 224 тыс. т в год;

— зерно в ряде портов — около 70 тыс. т в год (на Египет).

Указанные грузопотоки перераспределяются между:

— терминалом **Южная Озереевка** Каспийского трубопроводного консорциума (нефть);

— действующими портовыми мощностями **Новороссийского морского торгового порта** (нефть, руда, металл, контейнерные грузы), **Туапсинского морского торгового порта** (нефть, нефтепродукты), **Ростовского порта** (руда, уголь, металл), **Таганрогского морского торгового порта** (металл, руда); **Азовского морского порта** (металл, зерновые грузы, уголь); **Морского порта Темрюк** (руда, нефтепродукты); **Морского порта Кавказ** (нефтепродукты);

— терминалом ОАО «Таманьнефтегаз» **Морского порта Тамань** (нефть, нефтепродукты).

Переориентация грузопотоков предполагает:

— необходимые реконструкцию и развитие действующих перегрузочных комплексов за счет заинтересованных хозяйствующих субъектов;

— строительство объектов транспортной инфраструктуры Морского порта Тамань за счет привлеченных инвесторов, в том числе грузоотправителей из Республики Казахстан.

Возможная неготовность южных российских портов к скачкообразному росту объемов перевалки экспортных грузов из Казахстана актуализирует реализацию проекта «Расширение Актауского международного морского торгового порта в северном направлении» — строительство защитных гидротехнических сооружений (мол, волнолом), проведение дноуглубительных работ, строительство портовой инфраструктуры.

Прогнозируемый рост объемов добычи нефти на Тенгизском месторождении в Казахстане, превышающих современные возможности Каспийского трубопроводного консорциума, опреде-

ляет необходимость выполнения морских перевозок нефти в рамках Казахстанской каспийской системы транспортировки (ККСТ) пропускной способностью от 25 млн т в год. Варианты компоновки ККСТ: начальный — морскими танкерами из **Актау** в Баку (Азербайджан) и далее трубопроводом Баку – Тбилиси – Джейхан; последующий – строительство трубопровода Есекне – Курык, далее морскими танкерами из Курыка.

В настоящее время Каспийский трубопроводный консорциум приступил к расширению мощности своей нефтепроводной системы до 67 млн т нефти в год. Реализация утвержденного акционерами проекта предполагает строительство 10 новых НПС и, в том числе, дополнительных объектов на Морском терминале **Южная Озереевка**. Консорциум планирует достигнуть указанных объемов прокачки в 2015 году.

Завершается модернизация перегрузочных терминалов порта Актау, включающих три универсальных причала для обработки генеральных и навалочных грузов, один причал для экспорта зерна, перегрузки тяжеловесов и обработки судов типа «ро-ро». Из порта Актау судами смешанного «река-море» плавания производятся перевозки транзитных экспортно-импортных грузов в российские морские порты Каспийского (Махачкала, Астрахань, Оля) и Азовского бассейнов, а также осуществляется прямое водное сообщение посредством Волго-Донского судоходного канала с зарубежными портами Черноморско-Средиземноморского бассейна.

В целях развития транзитного потенциала в рамках международного транспортного коридора ТРАСЕКА продолжает развиваться международное железнодорожное паромное сообщение Актау – Баку и Актау – Ноушахр (Иран). В его рамках осуществляется смешанное железнодорожно-морское сообщение Актау – Баку – Батуми с экспортно-импортными грузами в страны Закавказья и транзитом в страны Черноморско-Средиземноморского бассейна.

В целях реализации соглашений, достигнутых в ходе переговоров Мангистауской и Астраханской областных администраций, портом Актау реализуется проект открытия паромной линии на участке Астрахань – Актау. Дальнейшее развитие получает автопаромная линия Актау – Оля.

Форсированный сценарий

Республика Беларусь

Перевод основных экспортных грузопотоков из портов Прибалтики в порт **Усть-Луга**. Строительство нефтепродуктопровода Новополоцк – Усть-Луга протяженностью порядка 385 км, пропускной способностью 2–3 млн т в год; нефтепродуктового терминала и терминала калийных удобрений в порту Усть-Луга на основе государственно-частного партнерства.

В целях освоения транзитного потенциала — реконструкция и ввод в действие Днепровско-Бугского канала с перегрузкой грузов в **Брестском речном порту** на железнодорожный транспорт. Возобновление регулярного грузового движения по водному пути Брест – Пинск – Мозырь – Киев – Херсон.

Республика Казахстан

Завершение строительства в **Морском порту Тамань** глубоководных экспортных сырьевых терминалов по основным номенклатурам грузов, с переориентацией на них экспортного грузопотока из Казахстана, а также строительства регионального контейнерного хаба.

Осуществление регулярных фидерных контейнерных перевозок по направлению **Актау – Тамань** с использованием Волго-Донского судоходного канала. Развитие контейнерного терминала в порту **Актау**. Привлечение новых грузопотоков из Европы транзитом через Азербайджан и Грузию, из ОАЭ транзитом через Иран, а также грузов, транспортируемых из Китая и Юго-Восточной Азии транзитом через Республику Казахстан в страны Европы.

Развитие транспортного коридора «Север-Юг». Консолидация существующего Южного направления на иранские порты Энзели, Ноушахр, Амирабад, Гяз, Нека с Северным направлением (прямое водное сообщение посредством Волго-Балтийского водного пути с экспортно-импортными (транзитными) грузами в страны Балтийского бассейна).

Произошедший переход портов Крыма под юрисдикцию Российской Федерации, как представляется, существенно не повлияет на приведенную географию перевозок. В частности их масштабная реконструкция для перевалки существенных объемов экспортно-импортных грузов оказывается нецелесообразной по следующим основным причинам:

1. Неопределенный в настоящее время международно-правовой статус территории исключает возможность заходов иностранных судов и предполагает возможность арестов в иностранных портах судов с грузами из Крыма.

2. Полностью отсутствует наземное сообщение с источниками зарождения и погашения грузопотоков. Проектируемый мост будет способен обеспечивать только текущие потребности Черноморского Флота, населения и рекреационной зоны.

3. Полностью отсутствуют необходимые для строительства энергетические и водные ресурсы.

4. Обусловливается необходимость проведения продолжительного по времени полного цикла проектно-изыскательских работ в сейсмоопасном регионе.

5. Несколько удлиняется наземное плечо подвоза; отрицательный экономический эффект проявляется именно при крупных грузопотоках.

В сложившейся ситуации портам Крыма необходимо придать статус (с соответствующей модернизацией) круизно-рекреационных (развитие пассажирских комплексов и яхтенных марин), в первую очередь, а также локальных фидерных портов по приему народнохозяйственных, в том числе, топливных грузов из Российской Федерации.

Таким образом, поддерживаемая нашей страной политика формирования единого транспортного пространства определяет положительные перспективы развития отечественной портовой инфраструктуры.

Список литературы

1. Oil News. http://oilnews.com.ua/a/news/Ukraine_prodolzhaet_teryat_tranzit_nefti/210012
2. Агентство Республики Казахстан по статистике. http://www.stat.kz/digital/vnesh_torg/Pages/default.aspx
3. Комитет Таможенного контроля Министерства финансов Республики Казахстан. <http://www.customs.kz/wps/portal/customs/>
4. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. <http://belstat.gov.by/homep/ru/indicators/fttrade1.php>
5. Портал внешнеэкономической деятельности Министерства экономического развития Российской Федерации. http://www.ved.gov.ru/exportcountries/kz/about_kz/ved_kz/
6. Порты Украины. <http://portsukraine.com/node/2532>
7. Товарная структура внешней торговли Беларуси. <http://ru.novabelarus.com/ekonomika-belarusi/tovarnaya-struktura-vneshnej-torgovli-belarusi/>
8. Центр транспортных стратегий. <http://cfts.org.ua/articles/49282>

УДК 656.073

М. Б. Иванова,
канд. экон. наук, доцент,
Государственный морской университет
имени адмирала Ф. Ф. Ушакова;

Н. Ю. Тимченко,
аспирант,
Государственный морской университет
имени адмирала Ф. Ф. Ушакова

СТРУКТУРИЗАЦИЯ ЦЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИТОРСКОЙ КОМПАНИИ, ОБСЛУЖИВАЮЩЕЙ ВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ

STRUCTURIZATION OF THE PURPOSES OF THE TRANSPORT-FORWARDING COMPANY, SERVING THE WATER TRANSPORT

Цели являются исходной точкой стратегического планирования транспортно-экспедиторской компании и лежат в основе построения организационных отношений. В данной статье приведены различные формулировки термина «цель», предложенные разными авторами. Также рассмотрена методика PATTERN, в рамках которой разработано первое дерево целей.

В данной статье приведено дерево целей транспортно-экспедиторской компании ООО «ДАЛК» и произведен расчет коэффициентов относительной важности для элементов дерева целей путем метода нормирования.

The purposes are a starting point of strategic planning of the transport-forwarding company and construction of organizational relations underlie. In given article various formulations of the term «the purpose», offered by various authors are resulted. Also technique PATTERN in which frameworks the first tree of the purposes is developed is considered.

In given article the tree of the purposes of the transport-forwarding company of Open Company “ДАЛК” is resulted and calculation of factors of relative importance is made for elements of a tree is more whole by a rationing method.

Ключевые слова: цель, методика PATTERN, дерево целей транспортно-экспедиторской компании, коэффициенты относительной важности.

Key words: the purpose, technique the PATTERN, a tree of the purposes of the transport-forwarding company, factors of relative importance.



ЕЛИ развития предприятия являются одним из основных этапов стратегического планирования. Цели лежат в основе формирования стратегии развития в транспортных компаниях.

Целью данной статьи является применение метода построения дерева целей в транспортно-экспедиторской компании.

Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- дано определение термину «цель»;
- рассмотрен SMART — принцип, необходимый для правильности формирования стратегических целей;
- рассмотрена методика PATTERN, в которой используется метод «дерева целей»;
- приведено дерево целей транспортно-экспедиторской компании ООО «ДАЛК»;
- рассмотрены различные методики определения коэффициентов относительной важности;

— произведен расчет коэффициентов относительной важности для «дерева целей» транспортно-экспедиторской компании ООО «ДАЛК».

Первоначально приведем несколько определений термина «цель», предложенных различными авторами в литературе по стратегическому управлению. Следует отметить, что все предложенные определения имеют одну логическую мысль.

О. С. Виханский считает, что цель — это конкретное состояние отдельных параметров организации, на достижение которого направлена ее деятельность [3, с. 222].

П. В. Шеметов говорит о том, что цель — это генеральное направление действий, обеспечивающее желаемое состояние объекта управления и его отдельных параметров. Обычно речь идет о будущем состоянии, которое должно быть достигнуто, или об определенной траектории развития, которой должен следовать объект управления [9, с. 124].

Таким образом, цель развития предприятия — это то состояние, которого стремится достичь организация в определенный момент времени в будущем.

Необходимость четкой и правильной формулировки цели подчеркивают многие авторы. Так, в работе [9, с. 124] приводится следующее обоснование: правильная формулировка целей имеет значительное психологическое воздействие на поведение людей в социально-экономических системах. Люди чувствуют себя более уверенно и эффективнее работают, когда знают, к чему стремятся. При наличии ясных и точных целей каждый индивидуум осознает свои достижения и получает разумное удовлетворение, что способствует созданию устойчивого психологического климата в коллективе и результативной деятельности.

Таким образом, от того, насколько правильно выбрана цель и четко и ясно она сформулирована, зависит успех предприятия. Непродуманное и нечеткое формулирование цели приводит к тому, что вся система управления работает неэффективно. Следовательно, в современном менеджменте без четкого определения цели, без выявления соотношения целей, средств достижения целей, оценки эффективности и путей достижения целей нельзя решать проблему эффективного управления предприятием [1, с. 66].

В работе [7, с. 75] говорится о том, что в стратегическом плане развития организации необходимо указать долгосрочные цели, сформулированные в виде комплекса стратегических целей, и ожидаемые результаты от их реализации, долгосрочные направления, приоритеты и ключевые ценности.

Выбор целевой ориентации предприятия — весьма актуальная задача, особенно в современной хозяйственной жизни, отличающейся высоким динамизмом. Выбор цели представляет собой важнейший этап в стратегическом планировании работы транспортно-экспедиторской компании. В соответствии с выбранной целью формируются стратегия развития компании и тактика, разрабатываются прогнозы и планы действий, оцениваются результаты принятых решений и принятых действий. «Если мы ставим перед собой задачу совершенствования организации, — пишет известный американский специалист по управлению Дж. О’Шонесси, — не уточнив ее целей, мы рискуем предложить лучшие способы выполнения ненужных функций или лучшие пути достижения неудовлетворительных конечных результатов» [8, с. 91].

Для определения правильности формирования стратегических целей используется SMART — принцип, согласно которому формируемая система целей должна удовлетворять требованиям:

- конкретность (Specific);
- измеримость (Measurable);
- согласованность (Agreeable, Accordant);
- достижимость (Realistic);
- определенность во времени (Time bounded) [6, с. 109].

Следует отметить, что существует другая последовательность и наличие новых требований к формированию стратегических целей, нежели предложенные выше в работе Б. Г. Литвак.

Так, в своей работе [7] М. В. Ржевская для правильного формирования стратегических целей выделяет следующие ключевые требования:

— **достижимость.** В целях должен быть заключен определенный вызов для сотрудников организации. Они не должны быть слишком легкими для достижения. Но они также не должны быть нереалистичными, выходящими за предельно допустимые возможности исполнителей. Нереальная для достижения цель приводит к демотивации работников и потере ими ориентира, что очень негативно сказывается на деятельности организации;

— **гибкость.** Цели следует устанавливать таким образом, чтобы они оставляли возможность для их корректировки в соответствии с теми изменениями, которые могут произойти в окружении. Менеджеры должны помнить об этом и быть готовыми внести модификации в установленные цели с учетом новых требований, выдвигаемых к организации со стороны окружения, либо же новых возможностей, появившихся у организации;

— **измеримость.** Это означает, что цели должны быть сформулированы таким образом, чтобы их можно было количественно измерить или можно было бы каким-то другим объективным способом оценить то, была ли цель достигнута или нет. Если цели неизмеримы, то они порождают разнотолки, затрудняют процесс оценки результатов деятельности и вызывают конфликты;

— **конкретность.** Цели должны обладать необходимой специфичностью, помогающей однозначно определить, в каком направлении должно осуществляться функционирование организации. Цель должна четко фиксировать, что необходимо получить в результате деятельности, в какие сроки следует ее достичь и кто ответствен за достижение цели. Чем более конкретна цель, тем легче выразить стратегию ее достижения. Если цель сформулирована конкретно, то это позволяет добиться того, что все или подавляющее большинство сотрудников организации будут легко понимать ее, а следовательно, знать, что их ожидает впереди;

— **совместимость.** Предполагается, что долгосрочные цели соответствуют миссии, а краткосрочные цели — долгосрочным. Но временная совместимость не является единственным направлением установления совместимости целей. Важно, чтобы не противоречили друг другу цели, относящиеся к прибыльности и установлению конкурентной позиции, или цели усиления позиции на существующем рынке и цели проникновения на новые рынки, цели прибыльности и благотворительности. Также важно всегда помнить, что совместимости требуют цели роста и цели поддержания стабильности;

— **приемлемость.** Цели должны быть приемлемыми для основных субъектов влияния, определяющих деятельность организации, и в первую очередь для тех, кому придется их достигать.

Для правильного формулирования целей транспортно-экспедиторской компании целесообразно построить дерево целей. Дерево целей состоит из генеральной цели или цели 0-го уровня, целей 1-го уровня, целей 2-го уровня и т. д.

Следует отметить, что далеко не всегда удастся выделить единственную генеральную цель — цель 0-го уровня. Каждому уровню, начиная с 0-го, могут принадлежать несколько целей. При этом цели, принадлежащие одному уровню, могут быть взаимно нейтральными, кооперироваться или конкурировать. Управленческие воздействия, необходимые для реализации взаимно нейтральных целей, не пересекаются и не зависят друг от друга.

В случае кооперирующихся целей управленческие воздействия, необходимые для их реализации, подкрепляют друг друга, так что одно из них способствует реализации другого. Нередки ситуации, когда достижение одной из целей обеспечивает достижение и другой, кооперированной с ней цели.

В случае конкурирующих целей достижение одной из них может означать отказ от другой. Это имеет место, например, если цели могут быть реализованы только с использованием одного и того же ограниченного ресурса, скажем, за счет одного и того же объема финансирования [6, с. 107].

Использование деревьев целей можно найти в методе PATTERN.

Первое дерево целей было разработано в середине 1960-х гг. в США фирмой «Хониуелл Инкорпорейтед» в рамках системы PATTERN. Считается, что инициатором создания методики является Ч. Дэвис, вице-президент фирмы «Хониуелл Инкорпорейтед» корпорации “RAND”, одной из так называемых «думающих», бесприбыльных корпораций, занимающихся разработкой военных доктрин, рекомендаций для выбора проектов новых систем вооружения, исследованием военного и научного потенциала «противника», рынков сбыта оружия и другими аналогичными проблемами анализа и прогнозирования развития военного потенциала США. Назначением, конечной целью создания системы PATTERN были подготовка и реализация планов обеспечения военного превосходства США над всем миром. Перед разработчиками методики PATTERN была поставлена задача — связать воедино военные и научные планы правительства США [4, с. 568].

Иерархическое дерево целей для оценки относительной важности всех входящих в PATTERN элементов строилось сверху вниз исходя из сценария, поэтапно, уровень за уровнем, так чтобы мероприятия последующего уровня обеспечивали задачи предыдущего. Дерево целей строилось на логической основе специалистами, привлекаемыми к его составлению. По мере перехода от общеполитических задач к научным, а затем к техническим профиль специалистов-составителей менялся. В обязанности специалистов входило присвоение коэффициентов относительной важности всем элементам данного уровня дерева целей [9, с. 139].

Система PATTERN явилась важным средством анализа труднорешаемых проблем с большой начальной неопределенностью, прогнозирования и планирования их реализации. Основные идеи методики применялись в различных областях — научные исследования, проектирование и создание систем различной сложности в научно-исследовательских организациях и на предприятиях, расширение рынков сбыта военно-космической продукции и т. д.

Глубина прогнозирования в системе PATTERN составляла 10–15 лет, что соответствовало жизненному циклу становления и старения техники [4, с. 571].

Ниже авторы данной статьи на рис. 1–3 приводят дерево целей транспортно-экспедиторской компании ООО «ДАЛК» и отмечают коэффициенты относительной важности каждого из элементов представленного дерева целей.

Для определения коэффициентов относительной важности целей компании авторы статьи предлагают рассмотреть такие методики, как метод нормирования, метод ранжирования и метод попарных сравнений.

Метод нормирования, или последовательного сравнения, сводится к тому, что факторы, подлежащие экспертной оценке, выписываются напротив шкалы, размеченной в процентах или относительных величинах от 0 до 1. Эксперту предлагается соединить линией каждый фактор с требуемой (по мнению эксперта) точкой шкалы. Допускается проводить к одной точке шкалы несколько линий. Результаты опроса нескольких экспертов сводятся в матрицу опроса, на основании которой производятся вычисления таких величин, как сумма весов, даваемых i -м экспертом всем факторам; относительный вес j -го фактора на основании оценки i -го эксперта; результирующий вес j -го фактора [10].

Метод ранжирования состоит в том, что эксперту предлагается присвоить числовые ранги каждому из приведенных в анкете факторов. Ранг, равный единице, присваивается наиболее важному, по мнению эксперта, фактору. Ранг, равный двум, присваивается следующему по

важности фактору и т. д. Порядковая шкала, получаемая в результате ранжирования, должна удовлетворять условию равенства числа рангов N числу ранжируемых элементов. Иногда возникает ситуация, когда эксперт затрудняется провести четкое разграничение между некоторыми элементами. В этом случае вводятся так называемые стандартизованные или связанные ранги.

Сумма рангов S_n , полученная в результате ранжирования n факторов, равна сумме чисел натурального ряда:

$$S_n = n \cdot (n + 1)/2. \quad (1)$$

При большем числе оцениваемых факторов их «различимость», с точки зрения эксперта, уменьшается. Поэтому число факторов не должно быть более 20, а наибольшая надежность процедуры ранжирования обеспечивается при $n < 10$.

Одним из недостатков анкетных методов является значительная субъективность экспертной оценки, поэтому для повышения степени ее объективности обычно проводят анкетирование нескольких экспертов. В случае если ранжирование производится несколькими экспертами, то наивысший ранг присваивается фактору, получившему наименьшую сумму рангов, и наоборот, фактор, собравший наибольшую сумму рангов, получает самый низкий ранг N . Для формализации этой процедуры удобно воспользоваться относительными весами факторов, которые можно вычислить путем следующей обработки анкет. Результаты опроса m экспертов относительно n факторов сводятся в матрицу размерности $m \cdot n$, которая называется матрицей опроса. Здесь A_{ij} — ранг j -го фактора, данный i -м экспертом. При обработке матриц опроса переходят к преобразованным рангам по формуле:

$$S_{ij} = A_{\max} - A_{ij}. \quad (2)$$

Матрица опроса преобразуется в матрицу преобразованных рангов, для каждого столбца которой определяется сумма и относительный вес каждого фактора по всем экспертам.

При использовании метода попарных сравнений каждый эксперт в качестве исходного материала получает специальную матрицу, в которой по горизонтали и по вертикали обозначены все сравниваемые цели. Важно то, что сравниваются между собой лишь две цели. Вначале экспертом заполняется только одна (верхняя справа от диагонали) часть матрицы. Вторая часть матрицы заполняется обратными числами, исходя из условия взаимного дополнения оценок. Далее для каждой цели вычисляется величина Z_j как корень n степени от произведения элементов строки матрицы; определяются весовые коэффициенты стратегических целей с позиции i -го эксперта; определяются коэффициенты важности целей как среднее арифметическое оценок экспертов.

Недостаток метода попарных сравнений заключается в том, что с увеличением числа целей значительно возрастает количество оценочных суждений. Этот недостаток становится особенно серьезным при использовании многоступенчатых методов ранжирования, когда приходится сравнивать много целей и подцелей. Однако самый существенный недостаток этого метода заключается в том, что ранжирование целей производится только в пределах заданного набора [10].

В данной статье для определения коэффициентов относительной важности целей транспортно-экспедиторской компании ООО «ДАЛК» авторами был принят метод нормирования благодаря его наглядности и простоте использования для экспертов.

На рис. 1 приведена схема 1 дерева целей транспортно-экспедиторской компании ООО «ДАЛК».

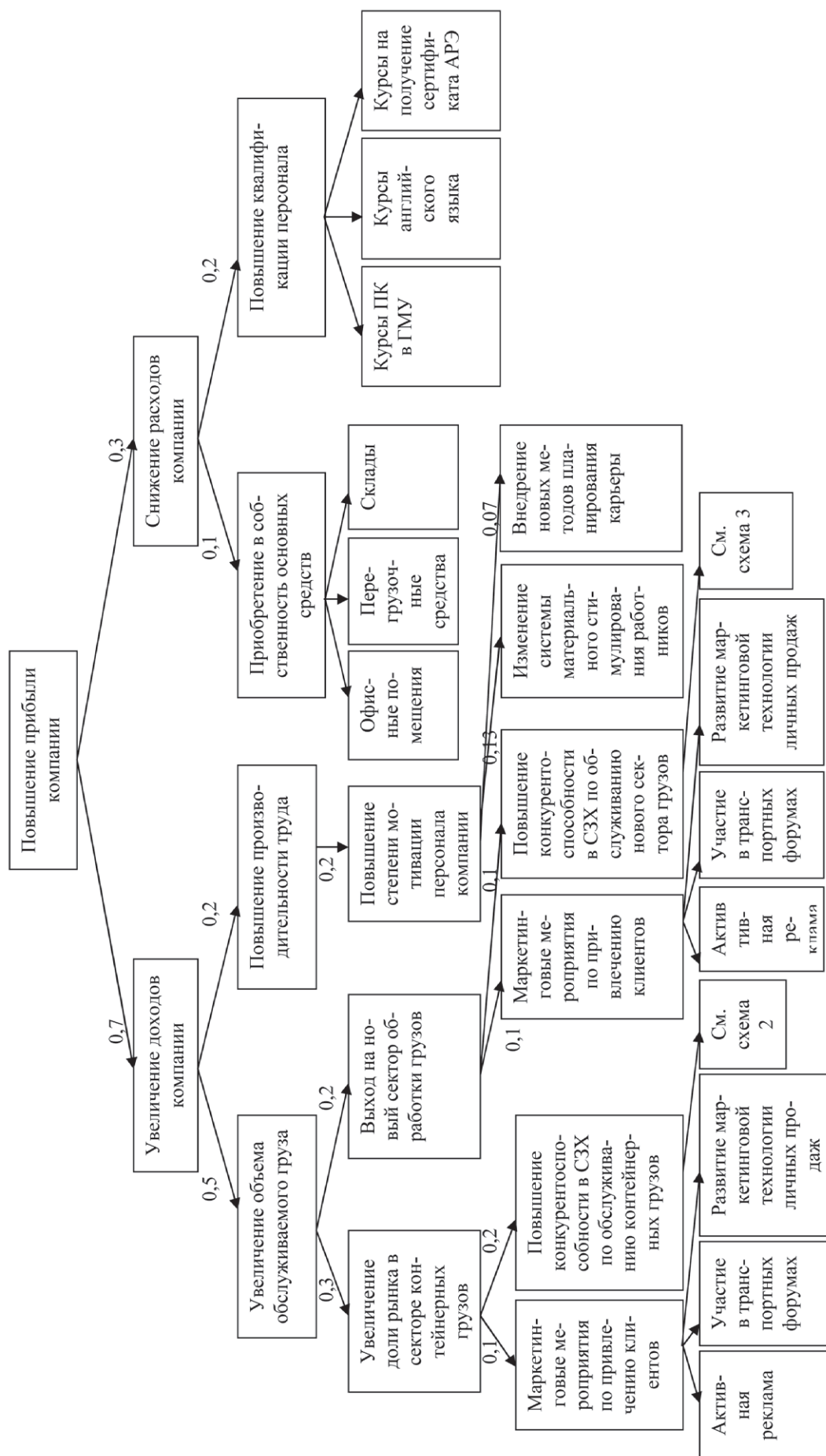


Рис. 1. Схема 1 дерева целей транспортно-экспедиторской компании ООО «ДАЛК»

Далее авторы статьи на рис. 2 и 3 приводят схемы 2 и 3 дерева целей транспортно-экспедиторской компании ООО «ДАЛК».



Рис. 2. Схема 2 дерева целей транспортно-экспедиторской компании ООО «ДАЛК»

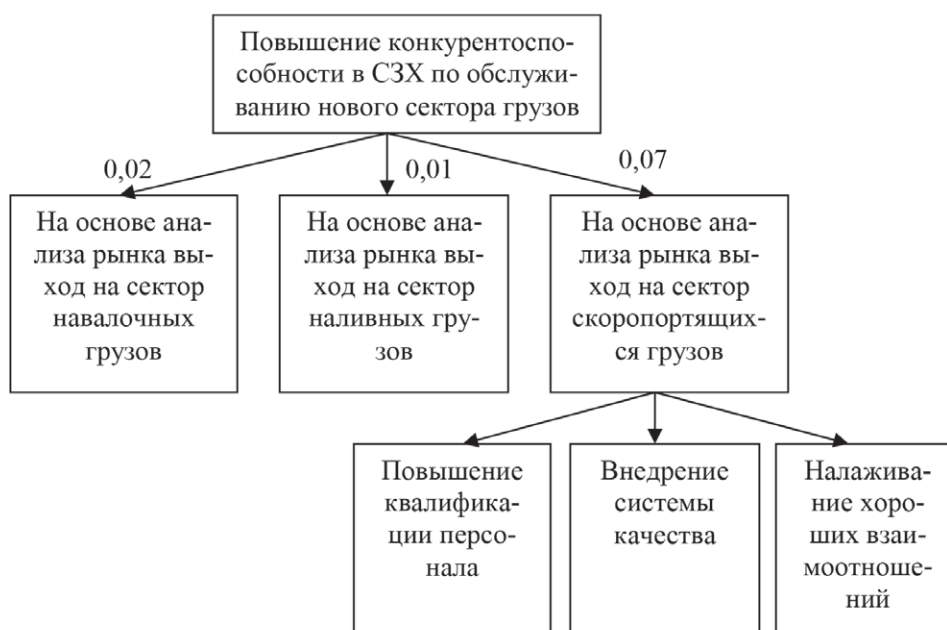


Рис. 3. Схема 3 дерева целей транспортно-экспедиторской компании ООО «ДАЛК»

На нижних уровнях дерева целей находятся мероприятия, которые позволяют увеличить прибыль транспортно-экспедиторской компании ООО «ДАЛК». Мероприятия формируются в соответствии с возможностями компании: внутренними показателями деятельности. Выбор мероприятия будет осуществляться с помощью метода анализа иерархий. Подробное описание предложенной методики будет представлено в следующей статье.

Из приведенного на рис. 1 дерева целей следует, что транспортно-экспедиторская компания ООО «ДАЛК» поставила перед собой генеральную цель — повысить прибыль компании.

Следующий этап состоит в увеличении доходов компании. Для реализации данной цели 1-го уровня запланирована цель 2-го уровня, такая как увеличение объема обслуживаемого груза. Для реализации данной цели запланированы цели 3-го уровня: увеличение доли рынка в секторе контейнерных грузов и выход на новый сектор обработки грузов.

Также целью 2-го уровня является повышение производительности труда. Для реализации данной цели была запланирована цель 3-го уровня: повышение степени мотивации персонала компании. Следует отметить модель Портера–Лоулера, которая является примером комплексной процессуальной теории мотивации. Когда результаты работы достигнуты, могут быть два вида

вознаграждений — внутренние и внешние. К внутренним вознаграждениям относятся чувство самоуважения, чувство удовлетворения от выполненной работы, чувство собственной значимости и компетентности. К внешним вознаграждениям относятся продвижение по карьерной лестнице, повышение заработной платы, премия, похвала руководителя. Внешние вознаграждения можно отнести к цели 4-го уровня — изменение системы материального стимулирования работников и внедрение новых методов планирования карьеры.

С точки зрения авторов данной статьи, для мотивации персонала транспортно-экспедиторской компании на улучшение трудовой деятельности необходимо ввести помимо оклада и ежеквартальной премии, следующие составляющие:

— необходимо оплачивать работнику оформленные им заявки на отправку груза по различным направлениям в размере 5 % от чистой прибыли по заявкам;

— за надлежащее выполнение работы работникам следует выплачивать ежемесячные премии. Размер премий устанавливается из числа оформленных заявок на отправки груза по различным направлениям. В результате эффективной трудовой деятельности работники компании ООО «ДАЛК» будут продвигаться по карьерной лестнице.

Также целями 4-го уровня являются маркетинговые мероприятия по привлечению клиентов, повышение конкурентоспособности в СЗХ по обслуживанию контейнерных грузов и по обслуживанию нового сектора грузов.

Для реализации цели 4-го уровня (повышение конкурентоспособности по обслуживанию нового сектора грузов) были запланированы цели 5-го уровня: на основе анализа рынка выход на сектор навалочных грузов, на основе анализа рынка выход на сектор наливных грузов и на основе анализа рынка выход на сектор скоропортящихся грузов.

В работе [5, с. 127–137] приведены возможные стратегии развития транспортно-экспедиторской компании для повышения ее конкурентоспособности. Ниже в табл. 1 будут рассмотрены данные стратегии.

Таблица 1

**Возможные стратегии развития транспортно-экспедиторской компании
для повышения конкурентоспособности**

Показатель конкурентоспособности	Стратегии развития конкурентоспособности компании
Уровень надежности обслуживания	— информационная система слежения за прохождением товара; — повышение квалификации работы персонала; — внедрение системы качества в соответствии с современными стандартами
Относительный уровень времени обслуживания	— налаживание хороших взаимоотношений с администрацией оператора портового терминала, таможней, сертификационными органами для более быстрого прохождения груза через транспортный узел; — приобретение современных модернизированных средств оформления документов (компьютеры, ноутбуки, принтеры) в достаточном количестве для работы без задержек
Мера полноты спектра услуг	— строительство собственного склада; — аренда склада; — аренда причала; — приобретение транспортных средств (суда, автомашины, железнодорожные вагоны); — аренда транспортных средств; — приобретение или аренда перегрузочных средств
Относительный показатель цены обслуживания	— предоставление объемных скидок для грузовладельцев

Таблица 1
(Окончание)

Характеристика имиджа	— активная реклама; — участие в транспортных форумах, конференциях, выставках
Степень взаимодействия с другими компаниями	Повышение степени синергии обслуживания при объединении усилий с другими участниками: — договоренность с другими компаниями о сотрудничестве; — присоединение к транспортному холдингу

Для реализации целей 4-го уровня (маркетинговые мероприятия по привлечению клиентов) запланированы цели 5-го уровня: активная реклама, участие в транспортных форумах и развитие маркетинговой технологии личных продаж.

Следует отметить последнюю из представленных целей 5-го уровня. Так, в своей работе [2, с. 1–9] М. В. Ботнарюк отмечает, что успех экспедиторской компании во многом зависит от умения персонала пользоваться таким маркетинговым инструментом, как личная продажа, — в нашем случае это личный контакт при поиске, привлечении и удержании клиента. К преимуществам личных продаж относят: личный контакт, гибкость отношений, диалоговый режим коммуникации, возможность использования элементов стимулирования сбыта, ориентированных на индивидуальные особенности покупателя. В качестве недостатков маркетингологи называют высокие издержки (расходы рабочего времени, поездки, заработная плата менеджеров по продажам и т. д.), а также сложность унификации технологии продаж, что обусловлено спецификой товара.

Приведенное на рис. 1 дерево целей содержит еще одну цель 1-го уровня — это снижение расходов компании. Для реализации данной цели запланированы цели 2-го уровня: приобретение в собственность основных средств и повышение квалификации персонала.

Для реализации цели 2-го уровня (приобретение в собственность основных средств) были запланированы цели 3-го уровня: приобретение офисных помещений, перегрузочных средств и складов. Для повышения квалификации специалистов запланированы цели 5-го уровня: курсы ПК в Государственном морском университете имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, курсы английского языка и курсы на получение сертификата ассоциации российских экспедиторов. В Российской Федерации подготовку и повышение квалификации экспедиторских кадров по образовательным стандартам ФИАТА осуществляет Центр повышения квалификации Ассоциации российских экспедиторов (ЦПК АРЭ).

В настоящее время не существует универсального алгоритма построения дерева целей, да и вряд ли он будет когда-либо создан из-за сложности и многообразия объектов и задач, а также из-за разного понимания этих задач и взаимосвязей между ними. Построение дерева целей — творческий процесс, являющийся элементом искусства управления и основывающийся на эвристической процедуре [9, с. 137].

Список литературы

1. Алексеев С. И. Исследование систем управления / С. И. Алексеев. — М.: ЕАОИ, 2008. — 195 с.
2. Ботнарюк М. В. Маркетинговые аспекты формирования клиентской базы компании, осуществляющей внутрипортовое экспедирование грузов / М. В. Ботнарюк // Маркетинг в России и за рубежом. — 2013. — Вып. 1.

3. *Виханский О. С.* Менеджмент / О. С. Виханский, А. И. Наумов. — М.: Магистр: ИНФРА-М, 2011. — 576 с.
4. *Волкова В. Н.* Теория систем и системный анализ в управлении организациями: справ. / В. Н. Волкова, А. А. Емельянова. — М.: Финансы и статистика, 2006. — 848 с.
5. *Иванова М. Б.* Методические основы выбора эффективных частных стратегий повышения конкурентоспособности транспортно-экспедиторских компаний / М. Б. Иванова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — Вып. 1.
6. *Литвак Б. Г.* Управленческие решения / Б. Г. Литвак. — М.: Московская финансово-промышленная академия, 2012. — 512 с.
7. *Ржевская М. В.* Стратегический менеджмент и его система: учеб. пособие / М. В. Ржевская. — Новороссийск: ГМУ имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, 2012. — 90 с.
8. *Тебекин А. В.* Методы принятия управленческих решений / А. В. Тебекин. — М.: Юрайт, 2013. — 572 с.
9. *Шеметов П. В.* Управленческие решения: технология, методы и инструменты / П. В. Шеметов. — М.: Омега-Л, 2011. — 398 с.
10. Материалы сайта www.bibliofond.ru.

УДК 656.2.078.12

Р. Г. Король,
аспирант,

ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный
университет путей сообщения»

А. С. Балалаев,

д-р техн. наук, профессор,

ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный
университет путей сообщения»

ТЕХНОЛОГИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЛАДИВОСТОКСКОГО ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА ПРИ НАЛИЧИИ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО ТЕРМИНАЛА «СУХОЙ ПОРТ»

THE TECHNOLOGY FUNCTIONS VLADIVOSTOK TRANSPORT HUB IN THE PRESENCE OF MULTIMODAL TERMINAL “DRY PORT”

Проанализирована существующая ситуация и проблематика взаимодействия железнодорожного и морского транспорта во Владивостокском транспортном узле. Предложено создание «сухого порта» на базе транспортно-логистического комплекса «Южный приморский терминал» на юге Приморского края. Рассмотрены основные вопросы функционирования транспортного узла с внедрением магистрально-фидерной системы движения поездов, а также применение современных принципов логистики на уровне «клиент–терминал–припортовая станция–морской порт».

Analyzed the current situation and problems of interaction of railway and Maritime transport in Vladivostok transport node. The proposed creation of a “dry port” on the basis of transport and logistics complex southern coastal Terminal in the South of Primorsky Krai. The basic issues of the functioning of the transport node with the introduction of a trunk-feeder system of trains, as well as the application of modern principles of logistics at the level of the client terminal port station port.

Ключевые слова: тыловой терминал, «сухой порт», морские порты, припортовая станция, транспортный узел, взаимодействие железнодорожного и морского транспорта.

Key words: rear terminal “dry port”, seaports, port station, transport hub, the interaction of rail and sea transport.

Введение. Специфика транспортной системы России обуславливает ведущую роль железных дорог в обеспечении внешнеторговых перевозок, поскольку на их долю приходится около половины экспортно-импортных перевозок, большая часть которых осуществляется через морские и речные порты (табл. 1) [1]. В общем объеме перевалки грузов России через морские порты почти 95 % составляют внешнеторговые грузы и 5 % — грузы, перевозимые в каботажном плавании.

Таблица 1

Динамика объемов перевалки внешнеторговых и каботажных грузов России, млн т

Год	Объем перевалки, в том числе					
	всего перевалено грузов	в каботаже	в заграничном плавании	через российские порты	через иностранные порты	всего через порты России
2000	250,30	12,30	238,00	170,00	68,00	182,30
2001	275,10	15,20	259,90	190,40	69,50	205,60
2002	351,60	14,90	336,70	250,70	86,00	265,60
2003	390,00	11,60	378,40	285,70	92,70	297,30
2004	439,80	19,40	420,40	336,00	84,40	355,40
2005	506,80	25,60	481,30	381,40	99,90	407,00
2006	525,10	25,30	499,90	395,70	104,10	421,00
2007	568,17	24,02	544,15	427,04	117,11	451,06
2008	571,06	29,26	541,80	425,33	116,47	454,59
2009	597,13	39,01	558,12	457,41	100,71	496,42
2010	622,31	36,51	585,80	489,52	96,28	526,03
2011	639,40	32,76	606,64	502,77	103,87	535,53
2012	661,60	31,70	629,90	534,30	95,60	566,00
2013	673,80	36,00	637,80	553,00	84,80	589,00

Анализ тенденций изменения объемов перевалки внешнеторговых грузов в портах в период с 2000 по 2013 г. (рис. 1) показывает, что идет устойчивый рост объемов перевозок экспортных грузов в смешанном сообщении через порты (доля перевозок через порты возросла более чем в два раза с 250,3 млн т 2000 г. до 673,8 млн т 2013 г.).

Грузооборот морских портов России за 2013-й год увеличился на 3,9 % по сравнению с 2012 г. и составил 589,0 млн т, наибольший удельный вес имеют порты Балтийского бассейна, объем перевалки грузов увеличился на 4,1 % до 215,8 млн т. В Дальневосточном бассейне переработка грузов увеличилась на 7,8 % до 144,8 млн т [2].

Во Владивостокском транспортном узле опорной станцией является Владивосток, которая обслуживает крупнейший порт Приморья — ОАО «Владивостокский морской торговый порт». Грузооборот порта Владивосток в 2013 г. увеличился на 10 % до 14,5 млн т [1].

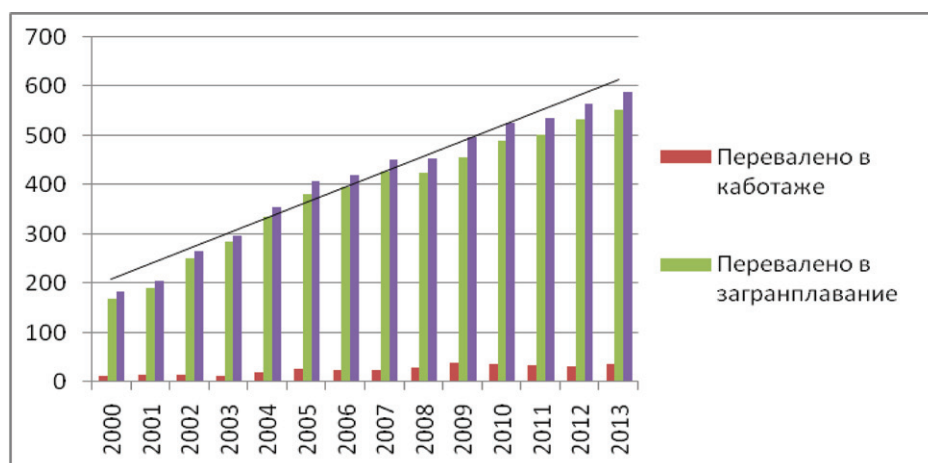


Рис. 1. Динамика изменения объемов перевалки грузов в портах России в 2000–2013 гг., млн т

На территории «ВМТП» находится ООО «Владивостокский контейнерный терминал» (ВКТ) и ООО «Дальрестранс». Контейнерооборот за 2012 г. составил 404 245 TEU, что выше показателей 2011 г. на 36 %. Грузооборот ООО «ВКТ» за 2013 г. составил 476 758 TEU. Возрастание потока контейнерных грузов показано на рис. 2 (если процентный рост останется равным 30 %). К 2020 г. пропускную способность причалов ОАО «ВМТП» планируется увеличить до 16 млн т, а перевалку контейнеров в порту к 2015 г. до 650 тыс. TEUs [2].

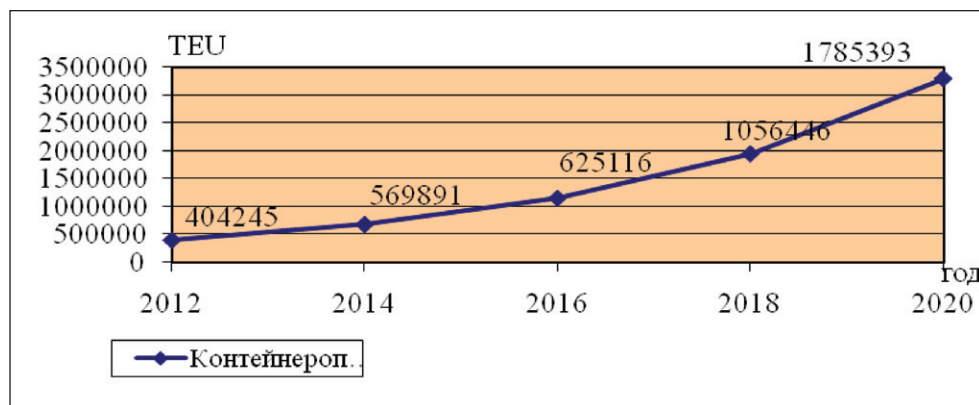


Рис. 2. Диаграмма возрастания контейнеропотока ВКТ

Для исследования возможности увеличения перерабатывающей способности морского порта необходимо проанализировать работу станции Владивосток для принятия решения о возможности обслуживания причалов порта в условиях увеличения поступающего вагонопотока. Анализ качественных показателей работы станции Владивосток показал, что между ними существует зависимость. Показатели проанализированы с помощью метода наименьших квадратов, который служит для аппроксимации точечных значений некоторой функцией (рис. 3–8).

Из графика видно, что при рабочем парке свыше 800 вагонов месячная переработка вагонов падает, уменьшается погрузка и выгрузка вагонов по станции. Схожие выводы можно сделать из графика зависимости среднесуточного рабочего парка от месячной выгрузки вагонов. При месячной выгрузке свыше 10 тыс. вагонов рабочий парк станции уменьшается (отметка около 800 вагонов).

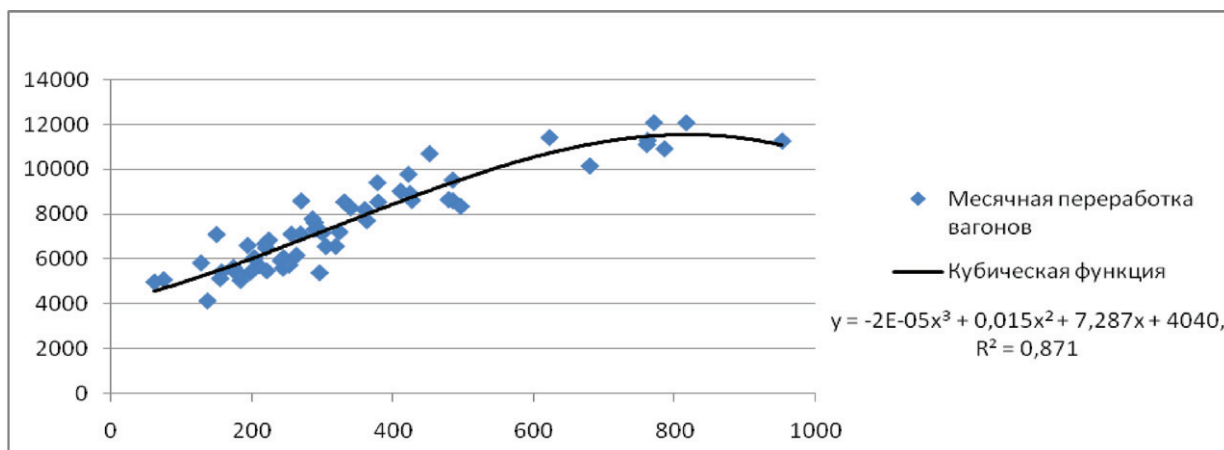


Рис. 3. Зависимость месячной переработки вагонов (погрузка и выгрузка) от среднесуточного рабочего парка станции Владивосток

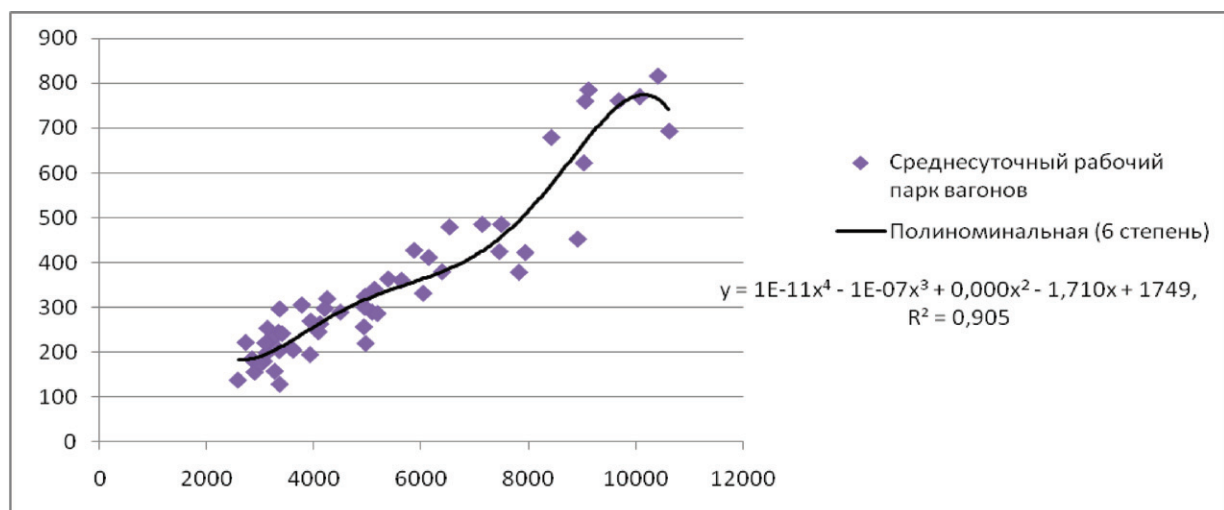


Рис. 4. Зависимость среднесуточного рабочего парка от месячной выгрузки вагонов станции Владивосток

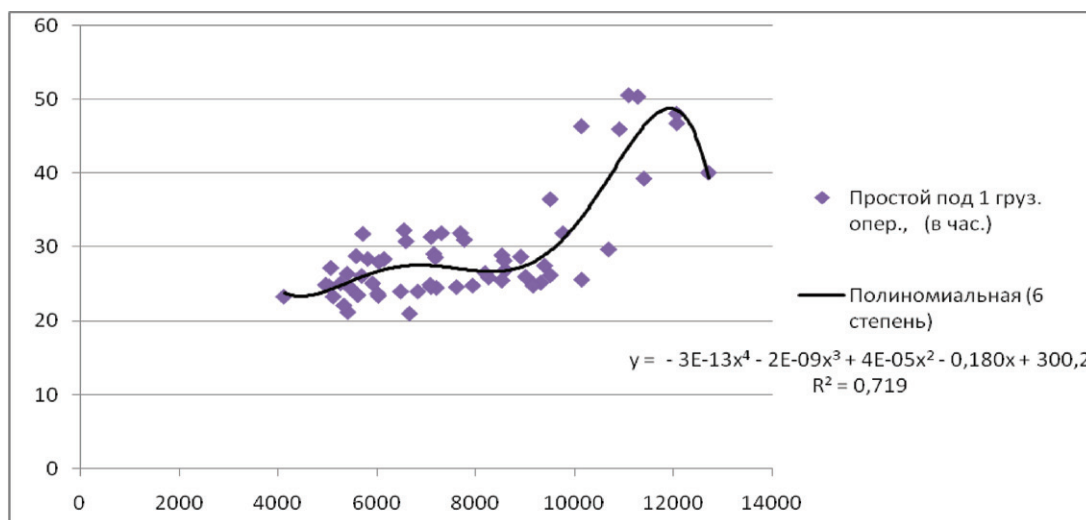


Рис. 5. Зависимость среднемесячного простоя под одной грузовой операцией от месячной переработки вагонов станции Владивосток

График зависимости среднемесячного простоя под одной грузовой операцией от месячной переработки вагонов станции Владивосток показывает, что при месячной переработке свыше 10 тыс. вагонов простой под одной грузовой операцией составляет 48 ч. (2 сут). При месячной переработке вагонов свыше 12 тыс. станция Владивосток уже не может функционировать в нормальном режиме.

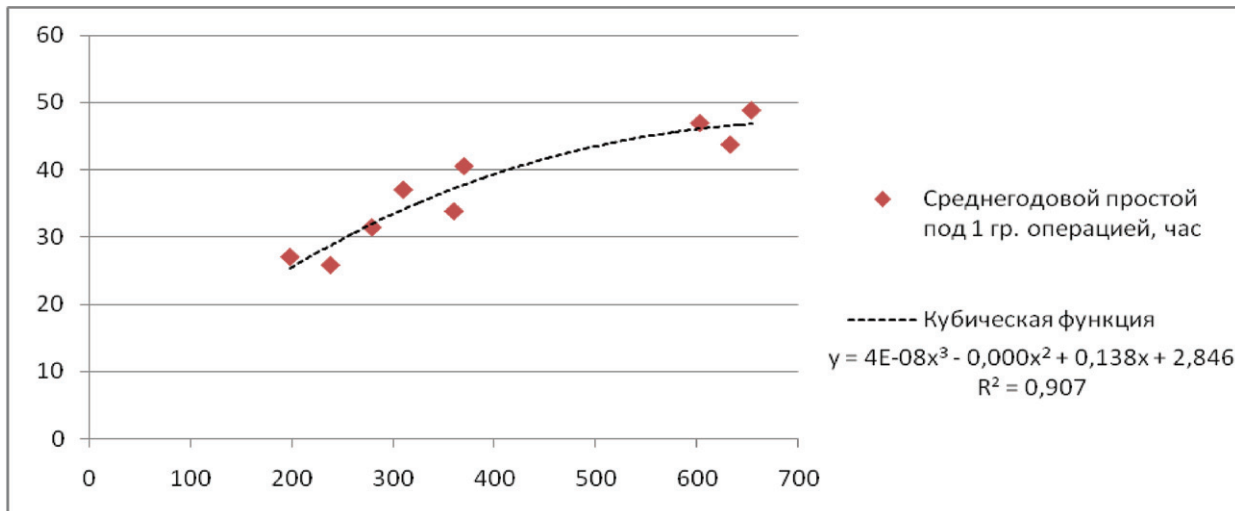


Рис. 6. Зависимость среднегодового простоя под одной грузовой операцией от среднесуточного рабочего парка станции Владивосток

Зависимость среднегодового простоя под одной грузовой операцией от среднесуточного рабочего парка станции Владивосток описывается нелинейной функцией. Из графика видно, что при среднесуточном рабочем парке в 700 вагонов простой под одной грузовой операцией составляет почти 2 сут.

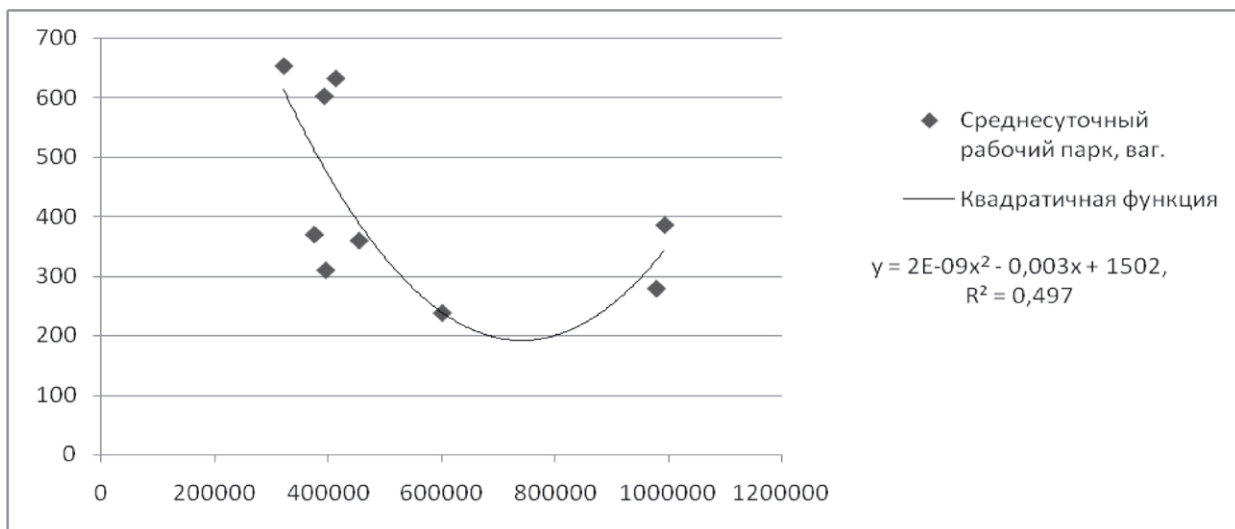


Рис. 7. Зависимость среднесуточного рабочего парка от годовой погрузки станции Владивосток

Из графиков зависимости среднесуточного рабочего парка от годовой погрузки станции Владивосток можно сделать вывод, что при погрузке свыше 800 тыс. т увеличивается простой под одной грузовой операцией и среднесуточный рабочий парк, что негативно сказывается на работе ВТУ.

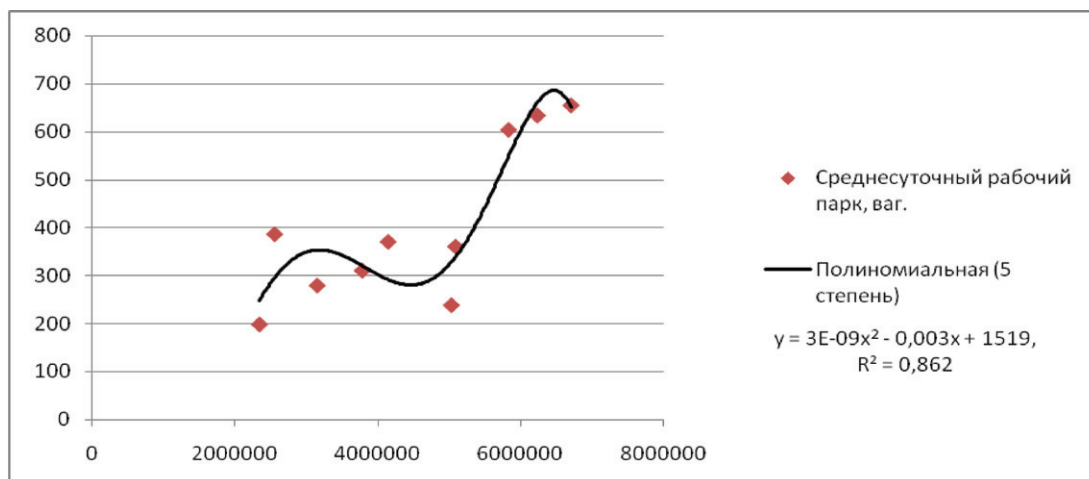


Рис. 8. Зависимость среднесуточного рабочего парка от годовой выгрузки станции Владивосток

Из графика зависимости среднесуточного рабочего парка от годовой выгрузки станции Владивосток можно сделать вывод, что при выгрузке более 6 млн т среднесуточный рабочий парк достигает 700 вагонов и далее станция Владивосток не сможет обслуживать ОАО «ВМТП» в нормальном режиме.

В «пиковый сезон» (июль–август и ноябрь–декабрь) порты Дальнего Востока («Владивосток» и «Восточный») не справляются с возросшим объемом грузопотока, суда стоят под выгрузкой от трех до семи дней. Все терминальные перемещения контейнеров идут с опозданием, тем самым вместо трех дней пребывания контейнеров в портах срок составляет от 15 до 20 дней. При этом нарушается технологический цикл работы припортовых станций Дальневосточной железной дороги: замедлен оборот вагона, не выполняются многие плановые производственные показатели. Вагоны в ожидании выгрузки в портах Приморья приходится распределять по всему Владивостокскому отделению дороги, создавая серьезную угрозу парализовать движение на восточном участке Транссиба. В сложившейся ситуации на указанных станциях и путях необщего пользования не освобождается подвижной состав, из-за занятости железнодорожных путей возникают технологические затруднения в работе станций, производятся дополнительные маневровые работы, компания ОАО «РЖД» несет существенные убытки от многодневного простоя вагонов и несоблюдения сроков доставки груза. Необходимо регулировать растущий грузопоток в направлении станции Владивосток с помощью создания и внедрения тыловых терминалов «сухих портов», что позволит перенаправить часть грузов из портов на удаленный тыловой терминал, тем самым снизится напряженность и на таможенных пунктах пропуска.

Под тыловым терминалом («сухим портом») можно понимать терминал, расположенный вне границ территории порта, который связан с портом единой технологией обработки грузов, за счет которой обеспечивается вывод с территории порта операций, не связанных с перевалкой грузов с морского транспорта [3, с. 51–55].

Комплекс услуг мультимодального «сухого порта» может включать:

- оптимальную схему перевозки грузов по условиям грузоотправителей и грузополучателей; поиск железнодорожных вагонов, автофургонов и контроль их продвижения;
- выбор вида декларирования грузов, подготовку к таможенному досмотру, взвешивание груза;
- обработку и хранение грузов в крытых складах, на открытых площадках, в контейнерах, СВХ, таможенных складах;
- обработку и подготовку вагонов, цистерн под погрузку и выгрузку, в том числе перегрузку и перевалку экспортно-импортных грузов из крытых вагонов в контейнеры и обратно, а также обработку и подготовку цистерн под налив нефтепродуктов;

- отправку грузевых и порожних контейнеров ускоренными контейнерными поездами;
- стивидорные работы;
- организацию перевозки всех родов грузов, в том числе скоропортящихся, негабаритных, длинномерных, тяжеловесных в контейнерах;
- прочие услуги по организации и условиям перевозки грузов железнодорожным и автотранспортом, в том числе охрану грузов, отслеживание в онлайн-режиме контейнеров по их статусу в пути следования.

На базе «сухого порта» могут осуществляться консолидация и распределение товаров, географическое объединение независимых компаний и органов, занимающихся перевозкой грузов (включая экспедиторов грузов, перевозчиков, операторов перевозки), и предоставление сопутствующих услуг: таможенные инспекции, уплата налогов, хранение, техническое обслуживание и ремонт транспортных средств и тары, банковские услуги, использование средств информационно-коммуникационной технологии. Возможность оформления необходимых документов и выполнения процедур на подобных терминалах уменьшила бы перегруженность магистралей и сократила бы задержки при пересечении границ и в портах, снизив тем самым издержки совершения сделок для экспортеров и импортеров [5, с. 87–92].

Практически большинство контейнеров из любого порта вывозится автомобильным транспортом, причем нагрузка на автодорожную инфраструктуру колоссальна, не говоря уже о том, что в условиях постоянных пробок регулярное движение между портом и «сухим портом» организовать практически невозможно. Необходимо загружать железную дорогу, но низкая пропускная способность железнодорожной сети на подступах к порту не позволяют увеличить долю вывоза контейнеров этим видом транспорта. В связи с этим предлагаемое решение проблемы заключается в переводе работы железной дороги на магистрально-фидерную систему во взаимодействии с тыловым терминалом «сухим портом».

Транспортно-логистический комплекс «Южный приморский терминал» (ТЛК ЮПТ) — это общий «сухой порт», предназначенный для снижения влияния различного рода дестабилизирующих факторов на работу портов, приводящих к скоплению вагонов и судов, и обеспечение ритмичности в работе морского и железнодорожного транспорта [4].

Разработчиками проекта ТЛК «Южный приморский терминал» рассматривается вопрос о внедрении магистрально-фидерного движения поездов. «Южный приморский терминал» должен стать центром формирования магистральных поездов, маршрутов — прямых и обратных, полносоставных, сборных, кольцевых. А от портов ВТУ до «ЮПТ» должны работать фидерные перевозки — «вертушечные» поезда. Фидерное движение потребует разработки тарифной системы, создания новой схемы распределения документопотока, новой организации процесса.

По существующей системе организации движения грузов (рис. 9) поезда прибывают на припортовую станцию, расформировываются на пути сортировочного парка и подобранными группами вагонов подаются на фронт погрузки/выгрузки порта в соответствии с заявкой или разрядкой порта. Далее происходит прием/сдача грузевых и порожних вагонов, который осуществляют: со стороны порта — тальман, со стороны железной дороги — приемосдатчик станции. Затем производится перегрузка груза из вагонов на площадку терминала, досмотры контролирующими органами, выпуск грузов в свободное обращение, проведение сертификации и отборов образцов грузов для лабораторных исследований, таможенное оформление и т. д.

Магистрально-фидерная система организации железнодорожных перевозок (рис. 2) в порты и из портов означает организацию работы удаленного от порта терминала («сухого порта»), способного выполнять все необходимые функции (накопление, сортировка, управление и т. д.) для работы с грузами как по «магистральному» графику (принятие и отправка магистральных поездов), так и на «фидерном» участке, в системе управления движением грузов на участке «терминал–припортовая станция–порт». В этом случае терминал будет согласовывать «магистральные» параметры движения грузов (расписание движения, количество вагонов и т. д.) с «фидерными» параметрами (текущей необходимости доставки нужных вагонов в порт или их вывоза из порта) [4].

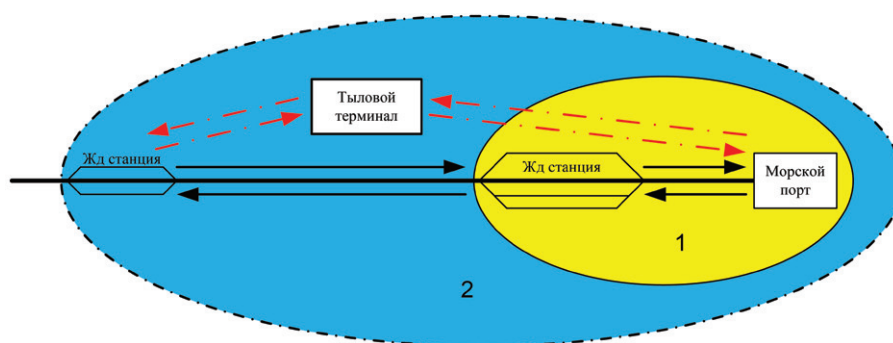


Рис. 9. 1 — существующая система организации движения поездов;
2 — магистрально-фидерная система организации движения поездов

Создание «сухих портов» решает проблему развития транспортных потоков в припортовых городах при помощи строительства объездных дорог и эстакад, не связанных с транспортной инфраструктурой городов-портов (рис. 10). Большегрузные автомобили разрушают дорожное покрытие в городе, также возникают длительные пробки на дорогах из-за плохой маневренности, что, в свою очередь, ведет к большой аварийности на дорогах, машинам приходится объезжать негабаритные места, а это дополнительное время и расход топлива. Большое число грузовых автомобилей в городе приводит к скоплению выхлопных газов, что негативно сказывается на экологии города. Поэтому передача контейнерных грузов на терминал будет способствовать выводу большегрузного транспорта за пределы города, транспортировка контейнеров с терминала в порт и обратно будет осуществляться железнодорожным транспортом [7, с. 108–112].

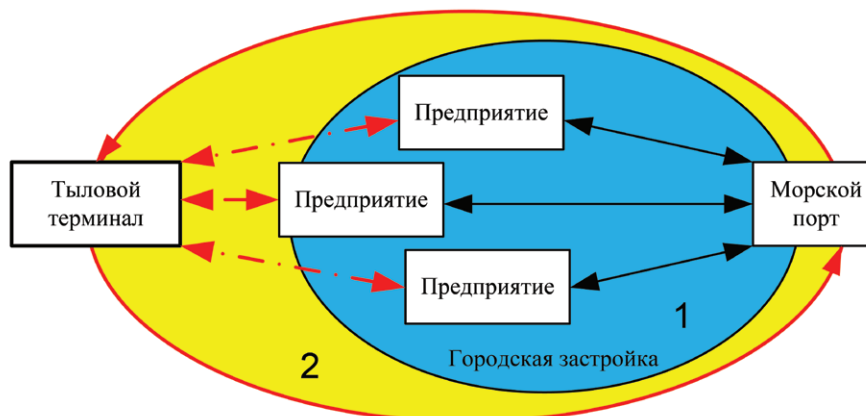


Рис. 10. 1 — существующая система завоза-вывоза контейнеров автотранспортом;
2 — обслуживание морского порта автотранспортом при наличии «сухого порта»

«Южный приморский терминал» может стать центром формирования магистральных поездов, маршрутов — прямых и обратных, полносоставных, сборных, кольцевых. А от портов ВТУ до «ЮПТ» должны работать фидерные перевозки — «вертушечные» поезда, которые работают по четкому расписанию с большой частотой рейсов. Таким образом, контейнерные терминалы портов смогут сосредоточиться на выполнении своей основной задачи — приеме и обработке судов. Согласно этой технологии таможенное оформление, включающее оплату таможенных пошлин и выполнение необходимых таможенных операций с грузом, будет проводиться не в порту, а на «сухом» терминале. Новая схема привлекательна и дает возможность быстрого вывоза контейнеров с территории контейнерного терминала, что позволяет порту оптимизировать использование своих производственных площадей.

Фидерное движение потребует разработки тарифной системы, создания новой схемы распределения документопотока, новой организации процесса. Внедрение магистрально-фидерной системы движения поездов потребуют не только вложения больших средств в инфраструктуру, но и перевода работы с клиентами на рыночные рельсы — упрощение процесса организации движения и оформления документов, также необходимо применение специальных тарифов для железнодорожных поездов «блок-трейнов».

Для деятельности «сухих портов» необходимы два общих условия:

- 1) консолидация морских грузов в интермодальные грузопотоки на короткие и дальние расстояния;
- 2) формирование парка необходимых транспортных средств.

Чтобы создать эти условия, «сухой порт» должен выполнять следующие функции: осуществлять менеджмент контейнерных грузопотоков в порты, сокращать использование автотранспорта и расширять деятельность железнодорожного, уменьшать транспортные расходы, осуществлять влияние на фирмы-судовладельцы и порт с целью обеспечить интенсификацию эффективности транспортных цепей.

Транспортная схема, в которой порт — только место перевалки, а тыловой терминал — место накопления и таможенного оформления, предполагает создание логистических операторов нового формата. Такие компании под свою ответственность будут принимать контейнеры в порту и организовывать их перемещение в «сухие порты». В перспективе должна появиться логистическая цепочка «морской порт–терминал–дверь клиента». В данной цепи будет более просто оценить и временные, и финансовые затраты при оказании «дверного» сервиса [6, с. 221–224].

Заключение. Применяя логистику на уровне «терминал–припортовая станция–порт», можно решить следующие вопросы:

- обеспечение постоянного совместного управления планом формирования поездов и оптимизация подхода вагонов на припортовую станцию;
- обеспечение соответствия «пиковых» суточных мощностей, технологий и организации работы портов и припортовых станций;
- организацию «вывода» мест доработки груза в прямом и обратном направлениях за пределы порта и припортовой станции на «сухие» терминалы;
- исключение «заторов» и обоюдных убытков от простоев при опережающем развитии мощностей припортовой железнодорожной станции и подходов, но не наоборот;
- организация перевозок в системе магистрально-фидерного сообщения.

Логистика в системе «терминал–припортовая станция–порт» работает в «тянущем» режиме (по запросам порта), в то время как вся железная дорога до порта работает в системе «толкающей» логистики (от потребности доставки груза в порт).

Реализация магистрально-фидерных перевозок позволяет минимизировать время нахождения вагонов с грузом в транспортных узлах на основе целенаправленного подвода вагонов под конкретные суда, что способствует существенному сокращению количества «брошенных» поездов.

В мировой практике существует несколько вариантов технологии и связанных с ней организацией работы терминалов в процессе обработки судов. *Схема работы «порт–припортовая станция–терминал» широко применяется в ключевых транспортных узлах стран АТР, что действительно позволяет улучшить координацию работы припортовых железнодорожных станций, автотранспорта, судовладельцев и, как следствие, перерабатывать значительный по мировым меркам объем грузов в контейнерах, обеспечивая уровень сервиса, соответствующий мировым стандартам по качеству и скорости обработки грузов.* Таким образом, развитие «сухих портов» является весьма важным инструментом обеспечения устойчивости и эффективности грузовых перевозок морских грузов.

Список литературы

1. Ассоциация морских торговых портов (АСОП) [Электронный ресурс] / сайт ИА PortNews.
2. Портал Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) [Электронный ресурс].
3. Король Р. Г. Обоснование целесообразности организации мультимодальных «сухих портов»: [Текст] / Р. Г. Король, А. С. Балалаев // Ключевые аспекты научной деятельности—2014: материалы X Междунар. науч.-практ. конф., Польша, 7–15 января 2014 г. — Ч. 20: Технические науки.
4. Материалы «Инвестиционная ярмарка АТЭС». — Владивосток, 2002.
5. Галин А. В. Сухие порты как часть транспортной инфраструктуры. Направления развития: [Текст] / А. В. Галин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2014. — Вып. 2 (24). — С. 87–92.
6. Поваров Г. В. Логистический подход к функционированию транспортного комплекса: [Текст] / Г. В. Поваров // Журнал Университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2012. — Вып. 1. — С. 207–211.
7. Тараканов Н. Л. Формирование терминально-распределительных комплексов в системе взаимодействия с интегрированными логическими платформами морских портов: [Текст] / Н. Л. Тараканов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2013. — Вып. 2 (21). — С. 108–111.

УДК 656.621/.626

Ю. Я. Зубарев,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

Д. С. Ловяников,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ СОВМЕСТНОЙ ОБРАБОТКИ ЭКСПОРТНО-ИМПОРТНЫХ И КАБОТАЖНЫХ СУДОВ НА КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛАХ

OPTIMAL MANAGEMENT OF THE PROCESS OF COASTING AND INTERNATIONAL VESSELS JOINT HANDLING AT CONTAINER TERMINALS

В работе рассматриваются полиномиальные модели процессов совместной обработки экспортно-импортных и каботажных контейнерных судов. На основе планов вычислительного эксперимента определяются зависимости между факторами процессов обработки контейнерных судов и значениями их показателей качества. С помощью полученных моделей производится оптимальное управление этими процессами на основе технико-экономических показателей. Решение этой задачи позволяет осуществлять планирование оптимальной загрузки терминала, обоснование программы развития производственных мощностей терминала и оценку качества функционирования терминала.

Polynomial models of the process of coasting and international trade container vessels joint handling are discussed in the article. Dependence between factors of process and indicators of quality is determined by processing of the results of computing experiment. Obtained models help to provide optimal management of the above process based on the technical and economic indicators. Solution to this problem provides us to carry out planning of optimal terminal's load, justification of its development program and quality assessment of terminal's operation.

Ключевые слова: совместная обработка экспортно-импортных и каботажных контейнерных судов, полиномиальные модели, оптимальное управление процессами.

Key words: coasting and international trade container vessels joint handling, polynomial models, optimal management.

В ОЗРАСТАЮЩАЯ сложность современных перерабатывающих терминалов и ужесточение требований к качеству обработки контейнерных судов выдвигают задачу оптимального управления этими процессами на различных стадиях проектирования и эксплуатации терминалов.

Повышение эффективности функционирования контейнерных терминалов путем решения задачи оптимального управления процессами совместной обработки экспортно-импортных и каботажных судов на основе вероятностных вычислительных и полиномиальных моделей.

В результате проведенных исследований доказана целесообразность и эффективность использования теоретических разработок и предлагаемых моделей для решения конкретных задач, возникающих при оптимальном управлении процессами обработки экспортно-импортных и каботажных контейнерных судов. Указанные полиномиальные модели и алгоритмы оптимального управления позволяют повысить эффективность проектирования контейнерных терминалов в морских портах с учетом противоречивых требований, предъявляемых к качеству процессов обработки судов.

Полиномиальные модели показателей качества

При решении задач оптимального управления процессами обработки экспортно-импортных и каботажных судов возникает необходимость использования аналитических методов оптимизации.

Однако, как показано в [3, с. 70–74; 4, с. 74–76; 5], расчет показателей качества процессов обработки контейнерных судов является процедурой, включающей достаточно большое число итераций. Это приводит к увеличению временных и вычислительных ресурсов, необходимых для получения конечного результата, а также существенно усложняет задачу оптимизации. Для упрощения оптимизационных расчетов целесообразно воспользоваться полиномиальными моделями процессов обработки контейнерных судов. Это позволяет решать задачи оптимизации аналитическими методами.

Рассмотрим транспортную систему, включающую два терминала, которые содержат S_1 и S_2 причалов. На терминалы поступают m_1 и m_2 экспортно-импортных судов. Между терминалами функционируют m_3 каботажных судов. Все суда обладают одинаковой контейнеровместимостью. Суммарное среднее время движения каботажного судна по маршруту равно $\bar{T}_m$, среднее время обработки судна — $\bar{T}_{обр}$, а среднее время ожидания судна в очереди — $\bar{T}_{ож}$. При рассмотрении движения однотипных судов целесообразно перейти к приведенным средним значениям временных интервалов $\bar{\tau}_m = \frac{\bar{T}_m}{\bar{T}_{обр}}$ и $\bar{\tau}_{ож} = \frac{\bar{T}_{ож}}{\bar{T}_{обр}}$.

Под полиномиальными моделями показателей качества процессов обработки контейнерных судов будем подразумевать полиномиальные зависимости функций отклика (показателей качества) $\mathcal{I}_1, \mathcal{I}_2, \dots, \mathcal{I}_m$ от факторов $q_1, q_2, \dots, q_n$. Показатели качества процессов обработки контейнерных судов представляют собой приведенные значения среднего времени ожидания судов в очереди $\bar{\tau}_{ож}$ и среднего числа судов в очереди $\bar{d}$. В качестве расчетных параметров можно рассматривать параметры $m_1, m_2, m_3, \phi_1, \phi_2, S_1, S_2$ и $\bar{\tau}_m$. Однако, хотя формально параметры $\bar{\tau}_m, m_3, S_1$ и S_2 являются независимыми величинами, в ходе эксперимента они могут принимать любые сочетания значений, при практических расчетах приходится учитывать их взаимосвязь. Поэтому при расчете показателей качества обработки судов на первом терминале необходимо вместо параметра $\bar{\tau}_m$ рассматривать приведенный расчетный параметр $r = \frac{m_3}{(\bar{\tau}_m + 1)S_1}$, который практически не связан с величинами S_1, S_2 и m_3 .

Кроме того, для повышения точности моделей рассмотрим локальные модели с фиксированным числом причалов S_1 .

Для определения полиномиальных моделей необходимо осуществить вычисления значения коэффициентов этих моделей. Процесс вычисления коэффициентов представляет собой задачу активной идентификации, решение которой производится на основе планирования вычислительного эксперимента.

В процессе идентификации определяются зависимости между расчетными параметрами (факторами) и значениями их показателей качества процессов. Каждый фактор при вычислительном эксперименте может принимать определенное число значений (дискретных уровней). Каждый фиксированный набор значений (уровней) факторов определяет состояние процесса обработки судов и представляет условие проведения эксперимента (расчета). В результате расчетов определяется вектор значений показателей качества $\mathcal{I}_1, \mathcal{I}_2, \dots, \mathcal{I}_m$.

Как известно, диапазоны изменения различных параметров q_1, q_2, q_n отличаются друг от друга, что существенно затрудняет планирование и обработку результатов вычислительного эксперимента. Поэтому необходимо производить нормирование факторов, причем область определения нормированных параметров ограничивается неравенством $-1 \leq q_n \leq 1$. В дальнейшем будем считать, что факторы $q_i (i = 1, 2, \dots, 7)$ являются нормированными.

Нормирование факторов для параметров φ_1, φ_2 и r будет связано с числом причалов S_1 . Нормирование остальных факторов для всех причалов одинаково. Результаты нормирования приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	№ фактора	Обозначение фактора	S_1	Нормированные значения				
				-1	-0,5	0	0,5	1
1	q_1	φ_1	2	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
2			3	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70
3			4	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
4	q_2	r	2	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
5			3	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
6			4	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70
7	q_3	m_3	2	4	5	6	7	8
8			3	4	6	8	10	12
9			4	4	8	12	16	20
10	q_4, q_6	m_1, m_2	2–4	40	50	60	70	80
11	q_5	φ_2	2–4	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
12	q_7	S_2	2–4	2	3	4	5	6

Полиномиальные модели показателей качества $\bar{\tau}_{\text{ож}}$ и $\bar{d}$ представляют собой неполные полиномы третьего порядка вида:

$$\bar{\mathcal{I}}(\bar{q}) = b_0 + \sum_{i=1}^7 b_i q_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^7 b_{ij} q_i q_j + \sum_{i=1}^7 b_{ii} q_i^2 + \sum_{i=1}^2 b_{iii} q_i^3. \quad (1)$$

Проведенные исследования показали, что полиномиальная модель результирующей приведенной плотности прихода судов к терминалу ψ_Σ достаточно точно может быть представлена линейной моделью вида:

$$\mathcal{I}(\bar{q}) = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i q_i. \quad (2)$$

Планы эксперимента включают 54 точки, том числе 32 точки дробного факторного эксперимента, 14 звездных точек, 4 точки полного факторного эксперимента и 4 звездные точки на два первых фактора. Обработка плана производилась на основе метода наименьших квадратов.

Выражения для нормированных параметров определялись на основе правила нормирования и данных табл. 1. Полученные выражения сведены в табл. 2.

Таблица 2

Число причалов	Выражения для нормированных параметров						
	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
2	$\frac{\varphi_1 - 0,5}{0,1}$	$\frac{r - 0,15}{0,1}$	$\frac{m_3 - 6}{2}$	$\frac{m_1 - 60}{20}$	$\frac{\varphi_2 - 0,5}{0,2}$	$\frac{m_2 - 60}{20}$	$\frac{S_2 - 4}{2}$
3	$\frac{\varphi_1 - 0,6}{0,1}$	$\frac{r - 0,4}{0,1}$	$\frac{m_3 - 8}{4}$	$\frac{m_1 - 60}{20}$	$\frac{\varphi_2 - 0,5}{0,2}$	$\frac{m_2 - 60}{20}$	$\frac{S_2 - 4}{2}$
4	$\frac{\varphi_1 - 0,7}{0,1}$	$\frac{r - 0,7}{0,1}$	$\frac{m_3 - 12}{8}$	$\frac{m_1 - 60}{20}$	$\frac{\varphi_2 - 0,5}{0,2}$	$\frac{m_2 - 60}{20}$	$\frac{S_2 - 4}{2}$

Оптимальное управление процессами

Формализуем задачу оптимального управления, то есть задачу определения оптимальной загрузки на первом контейнерном терминале на основе технико-экономических показателей. Будем рассматривать навигационный период в течение которого интенсивности суммарных потоков прихода экспортно-импортных и каботажных судов к первому терминалу λ_1 и $\lambda_{3(1)}$ считаются постоянными. Будем также считать, что контейнерная вместимость судов примерно одинакова, то есть каждое судно перевозит определенное число контейнеров одного типа. Обработка судов осуществляется с интенсивностью μ . Предполагается, что доходы контейнерного терминала от обработки судов пропорциональны числу этих судов, а следовательно, и потокам λ_1 и $\lambda_{3(1)}$. В то же время простой судов приводит к экономическим потерям судоходных компаний, связанным с дополнительными эксплуатационными расходами при ожидании и недополучением доходов из-за потери провозной способности судна. Эти потери судоходная компания компенсирует штрафными санкциями, выставляемыми терминалу.

Рассмотрим выражения для экономических показателей процесса обработки судов. Доход терминала за единицу времени (сутки) в соответствии с условием пропорциональности будет определяться выражением

$$D = C_0 \lambda_1 + C_0 \lambda_{3(1)} = C'_0 \psi_1 + C'_0 \psi_{3(1)} = C'_0 \psi_{1\Sigma}, \quad (3)$$

где C_0 — коэффициент, характеризующий средний доход терминала от обработки судна;

C'_0 — приведенный коэффициент, характеризующий средний доход от обработки судна за единицу времени:

$$C'_0 = C_0 \mu.$$

Затраты терминала на совместную обработку экспортно-импортных и каботажных судов можно условно разделить на три составляющие:

Первая составляющая затрат связана с приведенными потерями судоходной компании, зависящими от простоя судов:

$$Z_1 = C_1 \bar{d}_{1\Sigma}, \quad (4)$$

где C_1 — приведенный коэффициент стоимости простоя судна за единицу времени.

Вторая составляющая затрат представляет собой приведенные расходы на содержание коллектива людей и комплекса технических средств, обеспечивающих выполнение работ:

$$Z_2 = C_2 \lambda_1 + C_2 \lambda_{3(1)} = C'_2 \psi_1 + C'_2 \psi_{3(1)} = C'_2 \psi_{1\Sigma}, \quad (5)$$

где C_2 — приведенный коэффициент стоимости работ, связанных с обработкой судна.

$$C'_2 = C_2 \mu.$$

Третья составляющая представляет собой приведенные затраты на эксплуатацию причалов. Будем считать что эти затраты пропорциональны числу причалов и не зависят от перерабатываемых грузов.

Тогда

$$Z_3 = C_3 S_1.$$

Следовательно, выражение для прибыли можно записать следующим образом:

$$\Pi = D - Z_1 - Z_2 - Z_3 = C'_0 \psi_{1\Sigma} - C_1 \bar{d}_{1\Sigma} - C'_2 \psi_{1\Sigma} - C_3 S_1. \quad (6)$$

Сформируем задачу оптимизации загрузки первого терминала. Будем считать, что известны характеристики второго терминала ϕ_2 , S_2 , m_2 , характеристики каботажных перевозок $\bar{\tau}_m$ и m_3 , а также характеристики первого терминала S_1 и m_1 . Если число m_1 не известно, то его следует взять максимальным, в частности $m_1 = 80$. Такой выбор m_1 обеспечит гарантированную прибыль.

Затем необходимо выбрать такую интенсивность потока прихода судов в порт, при которой величина прибыли в единицу времени (сутки) была бы максимальной. Применение критерия максимизации прибыли в указанной постановке целесообразно в случаях, когда выполняются следующие условия:

- 1) контейнерный терминал включает достаточное число причалов, причем расходы на содержание причалов практически не зависят от числа обрабатываемых судов;
- 2) спрос на обработку судов превышает предложение, то есть для терминала имеются предложения по достаточно большому объему экспортно-импортных судов.

Тогда согласно (4) величину прибыли можно представить в виде

$$\Pi = \Delta C \psi_{1\Sigma} - C_1 \bar{d}_{1\Sigma} - C_3 S_1, \quad (7)$$

где $\Delta C = C'_0 - C_2$.

Однако в дальнейшем при определении прибыли не будем учитывать постоянные расходы, не зависящие от интенсивности прихода судов к терминалу. К ним относятся приведенные затраты на содержание причалов $C_3 S_1$, то есть в этом случае критерий максимизации прибыли будет определяться выражением:

$$\Delta C \psi_{1\Sigma} - C_1 \bar{d}_{1\Sigma} \rightarrow \max. \quad (8)$$

Для уменьшения числа переменных разделим выражение на C_1 . В результате получим окончательное выражение для максимизации прибыли:

$$\frac{\Delta C}{C_1} \psi_{1\Sigma} - \bar{d}_{1\Sigma} \rightarrow \max. \quad (9)$$

Определение оптимальной загрузки терминала, то есть определение значения интенсивности прихода экспортно-импортных судов к терминалу, соответствующей максимуму прибыли, осуществляется в следующей последовательности.

Зная значения коэффициентов C_0 , C_1 и C_2 , определяют соотношение $\frac{\Delta C}{C_1}$. На основе этого соотношения и известных характеристик транспортной системы m_1 , S_2 , m_2 , ϕ_2 , τ_m и m_3 определяется оптимальное значение коэффициента загрузки причалов ϕ_1^0 . Далее легко определяется оптималь-

ная приведенная плотность входного потока экспортно-импортных судов и его оптимальная интенсивность λ_1^o :

$$\psi_1 = \varphi_1 S_1; \lambda_1^o = \mu \psi_1 = \mu \varphi_1^o S_1.$$

Определение оптимального значения загрузки первого терминала может быть осуществлено классическим аналитическим методом на основе полиномиальных моделей среднего числа судов в очереди $\bar{d}$ и средней приведенной результирующей плотности прихода судов к первому терминалу $\psi_{\Sigma 1}$.

Оптимальные значения коэффициента загрузки φ_1^o могут быть получены на основе аналитического метода путем дифференцирования полиномиальных моделей отдельных слагаемых выражения (6) по параметру q_1 , соответствующему φ_1 . Представим приведенную прибыль в виде:

$$\Pi = \frac{\Delta C}{C_1} (b_0'' + \sum_{i=1}^7 b_i'' q_i) - b_0''' - \sum_{i=1}^7 b_i''' q_i - \sum_{i=1}^7 b_{ii}'' q_i^2 - \sum_{\substack{i=1 \\ i < j}}^7 b_{ij}'' q_i q_j - \sum_{i=1}^2 b_{iii}'' q_i^3. \quad (10)$$

Здесь и далее индекс b'' соответствует коэффициентам полиномиальной модели среднего числа судов в очереди на первом терминале $\bar{d}_1$, а индекс b''' — модели суммарной плотности прихода судов на первый терминал $\psi_{\Sigma 1}$.

Продифференцировав выражение (10) по параметру q_1 , получим

$$\frac{\partial \Pi}{\partial q_1} = \frac{\Delta C}{C_1} b_1''' - b_1'' - 2b_{11}'' q_1 - q_1 \sum_{i=2}^6 b_{1i}'' q_i - 3b_{111}'' q_1^2 = 0. \quad (11)$$

Уравнение (11) можно представить в виде

$$a q_1^2 + b q_1 + c = 0,$$

$$\text{где } a = 3b_{111}''; b = 2b_{11}'' + \sum_{i=2}^6 b_{1i}'' q_i; c = b_1'' - \frac{\Delta C}{C_1} b_1'''.$$

$$\text{Тогда оптимальное выражение фактора } q_1^o = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}.$$

Соответственно оптимальное значение коэффициента загрузки φ_1^o имеет вид:

$$\varphi_1^o = \varphi_0 + q_1^o \Delta \varphi_1, \quad (12)$$

где φ_0 — усредненное значение φ ;
 $\Delta \varphi_1$ — полуинтервал изменения φ .

На величину оптимальной загрузки причалов наиболее существенное влияние оказывает соотношение между коэффициентами ΔC и C_1 . Чем больше это соотношение, тем больше оптимальное значение φ_1^o . Можно легко показать, что оптимальное значение φ_1^o лежит внутри заданного диапазона изменения φ . Действительно, при стремлении φ к единице значение второго слагаемого $d(\varphi, S)$ существенно увеличивается, то есть величина прибыли становится отрицательной. При значительном уменьшении φ прибыль также уменьшается, так как выручка падает.

Данный метод оптимального управления был использован при эксплуатации контейнерного терминала ООО «Моби Дик» в рамках Федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы)».

Предварительный анализ показал, что для этого терминала ориентировочное соотношение коэффициентов $\frac{\Delta C}{C_1}$ будет равно 0,4.

Подставив эти данные в оптимизационную модель на основе выражения (11), получим оптимальное значение коэффициента загрузки терминала $\varphi_1^o = 0,458$.

Сравнительно невысокое значение оптимального коэффициента загрузки терминала объясняется высокими требованиями к среднему времени ожидания судов в очереди и тем, что в терминале имеются только два причала.

Заключение

Использование полиномиальных моделей неполного третьего порядка, на основе которых были определены показатели качества процессов совместной обработки экспортно-импортных и каботажных контейнерных судов, дает возможность непосредственно вычислять значения этих показателей, минуя промежуточные вычисления, связанные с расчетом вероятностей отдельных состояний процессов. Проведенные исследования позволяют решать задачи оптимального управления процессами одновременной обработки экспортно-импортных и каботажных судов на контейнерных терминалах.

Полученные результаты доведены до алгоритмов и программного обеспечения, которые использованы при эксплуатации контейнерного терминала ООО «Моби Дик» в соответствии с Федеральной целевой программой «Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы)».

Список литературы

1. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. — М.: Издат. центр «Академия», 2005. — 576 с.
2. *Гнеденко Б. В.* Об определении оптимального числа причалов / Б. В. Гнеденко, М. Н. Зубков // Морской сборник. — М., 1964. — № 1. — С. 35–3-9.
3. *Гайнулин А. С.* Вероятностная формализация процессов обработки каботажных судов на контейнерных терминалах / А. С. Гайнулин, Ю. Я. Зубарев // Журнал Университета водных коммуникаций — СПб.: СПбГУВК, 2011. — Вып. 1 (9).
4. *Зубарев Ю. Я.* Определение оптимальной загрузки контейнерного терминала при заданном времени ожидания / Ю. Я. Зубарев, А. С. Хвастунов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — СПб: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2013. — Вып. 4 (20).
5. *Зубарев Ю. Я.* Оптимизация процессов переработки каботажных грузов / Ю. Я. Зубарев, А. М. Тюкавин. — СПб.: Политехника, 2009. — 168 с.

ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 621.43.06

Н. Н. Зиненко,
канд. техн. наук,
ФГБОУ ВПО «Государственный морской
университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»;

Н. И. Николаев,
д-р техн. наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Государственный морской
университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»;

В. Е. Панамарев,
начальник технического отдела
ООО «СКФ Новошип технический менеджмент»

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ СОСТАВА ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ СУДОВЫХ МАЛОБОРОТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

METHODOLOGY OF CONTROL OF EXHAUST GASES COMPOSITION OF SHIP LOW SPEED ENGINES IN OPERATION

Действующие в настоящее время международные, национальные и региональные документы поэтапно ужесточают требования нормативных документов к составу отработанных газов судовых двигателей. Для судоходных компаний становится актуальным контроль состава и подсчет выбросов отработанных газов двигателей в эксплуатации. В статье приводится методика и результаты инструментального замера газоанализатором "TESTO-340" выбросов SO_x , NO_x , CO_2 в отработанных газах судового главного малооборотного двигателя танкера MAN 6S60MC в широком диапазоне нагрузок танкера.

Actual international, local and regional documents gradually enforce requests to content of engine's exhaust gases. And thus control of content and calculation of engine's exhaust gases in operation is very important for ships owners. Article describes procedure and results of content of SO_x , NO_x , CO_2 in exhaust gases of tanker's main low speed engine MAN 6S60MC recorded by gas analyzer "TESTO-340" in wide load range.

Ключевые слова: состав, газы, двигатель, контроль, МАРПОЛ, S3ES-Novoship.

Key words: content, gases, engine, control, MARPOL, S3ES-Novoship.

В НАСТОЯЩЕЕ время актуальность вопросов экологии как в мире, так и в судоходстве чрезвычайно высока. Это связано с растущим во всем мире пониманием важности сохранения окружающей среды и подтверждается постоянным ужесточением как национальных, так и международных нормативов выбросов.

В связи с этим актуальны вопросы сбора и анализа информации по качественному и количественному составу выбросов отработанных газов судовых двигателей, котлов, разработки различных способов и систем снижения выбросов. Действующая в настоящее время Международная конвенция МАРПОЛ 73/78 с ее приложениями I–VI регулирует управление сбросами с судов. С 1 июля 2010 г. вступила в силу новая редакция Приложения VI, предусматривающая более жесткие требования к судам по выбросам оксидов азота (NO_x), серы (SO_x), летучих органических соединений (VOC):

— изменен контроль замеров выбросов SO_x (окислов серы) — с 1 июля 2010 г. для назначенных районов (ECA), с 1 января 2012 г. для всего мирового пространства — Пр. 14 [1];

— изменен контроль замеров выбросов NO_x (окислов азота) и схемы сертификации двигателей — с 1 января 2011 г.

В компании ОАО «Новошип» в отношении природоохраны действует Руководство по экологическому менеджменту. Благодаря действующей в компании системе мониторинга энергоэффективности и экологической безопасности судов “S3ES-Novoship” [10] ежедневно производится мониторинг и обработка результатов работы судов. Данная система автоматически производит расчеты ежедневных выбросов отработанных газов судовых двигателей внутреннего сгорания и вспомогательных котлов в атмосферу, автоматически создает отчеты по выбросам отработанных газов по любому судну/всему флоту за любой промежуток времени.

Базируясь на ежедневных отчетах с судов, программа автоматически рассчитывает массовый и удельный выбросы главных компонентов выпускных газов: CO_2 , NO_x , SO_x по следующим алгоритмам:

— CO_2 — по рекомендованной формуле ИМО [3], рассчитывая эксплуатационный индекс энергетической эффективности судна;

— NO_x — по данным, взятым из [2];

— SO_x — по формуле, рекомендованной International Ship Managers Association (Inter Manager) [5], так как в настоящий момент действующая редакция Приложения VI МАРПОЛ 73/78 устанавливает только ограничения по содержанию серы в используемом топливе.

С 2008 г. в ОАО «Новошип» проводятся энергетические аудиты сервисными инженерами компании. Энергетические аудиты проводятся на каждом судне не реже одного раз в пять лет, а также внепланово в случае необходимости, как, например, после проведения на судне модернизационных работ, затрагивающих энергетическое оборудование судна, либо внеплановых технических инспекциях судна.

Целью аудитов является оценка энергетической и природоохранной эффективности использования установленного на судне оборудования с выдачей рекомендаций по их эффективному использованию. Рекомендации энергетических аудитов оформляются как «Несоответствия», с обязательным их исполнением судном, либо офисом.

Одним из разделов аудита является вопрос *контроля выбросов отработанных газов* судовых двигателей в атмосферу на основе инструментального замера и сравнение их с действующими международными нормативами.

Для примера рассмотрим результаты аудита, проведенного в августе 2011 г. на одном из танкеров компании дедвейтом 106 тыс. тонн по результатам инструментального замера выбросов отработанных газов (ОГ) с установленным на нем главным двигателем (ГД) MAN 6S60MC максимальной мощностью 11 327 кВт при частоте вращения 97 мин⁻¹. Компания оперирует 13 судами данной серии.

Методика контроля состава ОГ учитывает требования [1; 6–8].

1. Измеряемые параметры. На каждом режиме испытаний двигателя измерению подлежат следующие теплотехнические параметры:

— эффективная мощность N_e , кВт;

— частота вращения коленчатого вала n , мин⁻¹;

— расход воздуха, приведенный к нормальным атмосферным условиям ($P_0 = 101,3$ кПа, $T_0 = 273$ К) — V_{air} , м³/ч;

— концентрация в ОГ оксида углерода C_{CO} , об.%; оксида азота (в приведении к NO_2) — C_{NOx} , об.%; оксида серы (в приведении к SO_2) — C_{SOx} , об.%; суммы углеводородов (в приведении к $\text{CH}_{1,85}$) — C_{CH} , об.%.

Испытательные циклы и состав режимов испытаний соответствуют [7]. При нахождении двигателя на соответствующем режиме испытания значение частоты вращения и мощности установлены с точностью по [8].

2. Метод определения нормируемых параметров. Удельный средневзвешенный выброс i -го вредного вещества рассчитывается по формуле [6]:

$$e_i^P = 0,446\mu_i \frac{\sum_{j=1}^m C_{ij} V_{exhj} W_j}{P_{en} \sum_{j=1}^m \bar{P}_{ej} W_j},$$

где μ_i — молекулярная масса i -го вредного вещества либо его эквивалент по приведению ($\mu_{\text{NO}_2} = 46$, $\mu_{\text{CO}} = 28$, $\mu_{\text{CH}_{1,85}} = 13,85$), кг/кмоль;

m — количество режимов испытаний в испытательном цикле;

j — порядковый номер режима испытаний в испытательном цикле;

i — индекс вредного вещества;

C_{ij} — измеренная при испытаниях в j -м заданном режиме концентрация i -го вредного вещества в ОГ, об.%;

V_{exhj} — объемный расход ОГ, приведенный к нормальным атмосферным условиям ($P_0 = 101,3$ кПа, $T_0 = 273$ К), м³/ч, во «влажном» или «сухом» состоянии;

$\bar{P}_{ej}$ — отношение эффективной мощности дизеля на данном режиме испытаний к номинальной эффективной мощности;

W_j — весовой коэффициент режима;

P_{en} — номинальная эффективная мощность дизеля, кВт.

3. Места отбора отработанных газов и оборудование для проведения испытания.

Отбор и анализ отработанных газов осуществлялся из штатных мест (рис. 1) выхлопного коллектора двигателя, установленных при постройке судна, согласно Техническому кодексу по контролю выбросов окислов азота из судовых дизелей.

Испытания проводились газоанализатором TESTO 340. Технические характеристики приведены в табл. 1, 2. Обнуление и калибровка осуществлялись автоматически перед началом эксплуатации в течение 30 с. Газоанализатор TESTO 340 внесен в Государственный реестр средств измерений РФ, номер 13340-92.



Рис. 1. Место отбора отработавших газов главного двигателя

Таблица 1

Технические данные прибора TESTO 340

Тип зонда	Диапазон измерения	Погрешность
Измерение температуры. Тип К	–40–1200 °C	± 0,5 °C (0–99 °C) ± 0,5 % от измер. значения в остальном диапазоне. Разрешение — 0,1 °C
Измерение дифференциального давления	–200–200 гПа	± 0,5 гПа (–49,9–49,9 гПа) ± 1,5 % от измер. значения в остальном диапазоне. Разрешение — 0,1 гПа
Измерение тяги	–40–40 гПа	± 0,03 гПа (–2,99–2,99 гПа) ± 1,5 % от измер. значения в остальном диапазоне
Измерение NO	0–300 ppm	± 2 ppm (0–39,9 ppm) ± 5 % от измер. значения в остальном диапазоне

Таблица 2

Диапазоны измерения прибора TESTO 340

Измеряемые параметры газов	Диапазон измерений
Температура	–40–1200 °C
O ₂ (кислород)	0–25 об.% O ₂
CO (оксид углерода) с H ₂ компенсацией	0–10000 ppm CO
CO (оксид углерода) низкое	0–500 ppm CO
NO (оксид азота)	0–3000 ppm NO
NO (оксид азота) низкое	0–300 ppm NO
NO ₂ (диоксид азота)	0–500 ppm NO ₂
SO ₂ (диоксид серы)	0–5000 ppm SO ₂
Вес прибора	960 гр

Система пробоотбора газа состоит из пробоотборного зонда и пробоотборной магистрали с устройствами пробоподготовки (фильтрации) для очистки пробы газов и дальнейшей передачи ее на анализ. В анализатор встроен мощный мембранный насос с автоматическим управлением для отбора газов из выхлопного коллектора при отрицательном и положительном давлениях (от –200 до +50 мбар). Также анализатор оснащен кислородным сенсором O₂ и есть возможность использовать одновременно еще до трех дополнительных сенсоров из перечисленных ниже: NO₂ (диоксид азота), SO₂ (диоксид серы), CO_{низ} (угарный газ, низкие значения), NO (оксид азота), NO_{низ} (оксид азота, низкие значения). Возможна передача данных в режиме реального времени через Bluetooth® 2.0 непосредственно на ноутбук/ПК для хранения и дальнейшего анализа. Этот режим и использовался при измерениях.

Измерение выбросов вредных веществ ОГ судового двигателя проводились согласно [8].

Мощность

Мощность для расчета удельных средневзвешенных выбросов вредных веществ определялась несколькими способами и различными приборами:

— установленным на судне торсиомером KYMA Shaft Power Meter (Корея);

- прибором для индицирования типа Maihak 50;
- установленной на судне диагностической системой Doctor;
- электронным индикатором EPM-XP.

Частота вращения

Частота вращения ГД задавалась электронным регулятором и проверялась по данным торсиометра и штатного счетчика частоты вращения.

Топливо

При испытаниях двигатель работал на тяжелом топливе, качество топлива соответствовало топливу RMG 380 по стандарту ISO 8217-2005, анализ которого был заранее произведен в лаборатории компании “DNV PS”. Результаты анализа представлены в табл. 3. Замеры расхода топлива осуществлялись объемным методом, температура с точностью до 0,1 °С.

Таблица 3

Элементарный анализ топлива, представленный лабораторией компании “DNV PS”

Параметр	Единицы измерения	Значение
H (ALF)	% массы,	11,22
C (BET)	% массы	87,38
N (DEL)	% массы	0,28
O (EPS)	% массы	
S (GAM)	% массы	1
Плотность при 15 °С	кг/л	0,9906
Вязкость при 50 °С	мм ² /с	263,2
Механические примеси	% массы	9
Вода	% объема	0,01

Атмосферные условия

Как до испытания, так и во время испытания были зафиксированы атмосферные условия, такие как температура перед ТК и атмосферное давление. По требованию нормативных документов все объемные расходы газов были приведены к температуре 273 К и давлению 101, 3 кПа.

По результатам измерений рассчитывался параметр атмосферных условий F :

- согласно [6] для двигателя с наддувом от свободного турбокомпрессора:

$$-F = \left(\frac{99}{P_a} \right)^{0,7} \cdot \left(\frac{T_a}{298} \right)^{1,5};$$

— результаты испытаний считают достоверными, если в течение времени проведения испытаний параметр F остается в пределах [6]:

$$0,98 \leq F \leq 1,02.$$

Испытания проводились согласно испытательному циклу E3 [2], применяемому к главным и вспомогательным двигателям, работающим по винтовой характеристике. Замеры проводились на нагрузке 25, 50, 75 и 85 % от MCR (максимальной мощности двигателя). Испытания проводились при снижении мощности ГД, начиная, как рекомендует [6], с максимально возможной мощности при условии чистого корпуса (судно вышло из дока 1 апреля 2011 г.) и неполной загрузки судна (85 % MCR) и согласно программе снижения частоты вращения до полного маневренного режима (75 мин⁻¹) и далее в маневренном режиме до полной остановки. Снижение частоты враще-

ния ГД осуществлялось приблизительно с частотой один оборот каждые пять минут, при этом с обязательной фиксацией мощности, а в ключевых точках, таких как 85, 75, 50 и 25 % мощности MCR производилась запись и расчет теплотехнических параметров: средневзвешенной мощности, расхода топлива, всех атмосферных параметров и параметров ГД, которые обычно снимаются при индицировании ГД. При маневрировании ГД отработал на каждом режиме не менее 10 мин. Запись состава отработанных газов производилась в онлайн-режиме с частотой записи каждые 10 с (рис. 5). Температура воздуха на входе и выходе из воздушного холодильника, температура выхлопных газов на выходе из ТК, температура воздуха в ресивере измерялись штатно установленными приборами. Температура воздуха на входе в ТК, окружающей среды и температура топлива на расходомере измерялась пирометром с точностью до 0,1 °С. Давление выпускных газов, продувочного воздуха и атмосферное давление измерялось штатно установленными приборами. Отбор пробы осуществлялся в 10 м от УК и в 15 м от выхода отработанных газов в атмосферу. Выхлопная труба в месте отбора пробы диаметром 1000 мм, температура выхлопных газов не менее 190 °С.

Для расчета средневзвешенных удельных выбросов использовались методики, описанные в [2; 6]. Замер топлива осуществлялся по штатному расходомеру с точностью до 0,1 л, время периода замеров — с точностью до 1 с, температура на счетчике — с точностью до 0,1 °С. Так как значение NO_x зависит от состояния параметров окружающего воздуха, то применяются следующие поправочные коэффициенты: поправочный коэффициент влажности NO_x для дизельных двигателей (K_{hd}), поправочный коэффициент впускного воздуха (K_a), сухой/влажный поправочный коэффициент (K_w, r), которые для выпускных газов рассчитывались по формулам из [2].

Количество отработанных газов рассчитывалось по формулам ИМО по универсальному методу и методу углеродно-кислородного баланса [2]. Результаты замеров отработанных газов (CO_2 , NO_x , SO_x) ГД в широком диапазоне нагрузок были обработаны и подсчитаны, результаты расчетов массовых и удельных выбросов замеренных газов помещены в сводную табл. 4, а также представлены в виде графиков зависимости от нагрузки двигателя (рис. 2–4).

Таблица 4

Результаты замеров отработанных газов ГД

Параметр		Номер испытания			
		1	2	3	4
Время работы на режиме		9:14–10:17	10:57–11:42	13:23–13:59	14:21–15:04
Время записи		9:20–10:15	11:00–11:40	13:23–13:59	14:21–15:04
Мощность ГД	% MCR	85	75	50	25
	кВт	9553	8460	5638	2968
Частота вращения ГД	мин ⁻¹	97	93	81	65
	% макс	93,68	89,9	78,4	63,2
Максимальное давление сгорания	бар	121,37	111,87	85	66,02
Давление сжатия	бар	102,57	94,33	70,15	47,73
Среднее эффективное давление	бар	15,85	14,52	11,18	7,32
Температура выхлопных газов после ГТН	°С	285	279	291	290
Частота вращения ГТН	мин ⁻¹	12 300	11 400	9400	6100

Таблица 4
(Окончание)

Параметр		Номер испытания			
		1	2	3	4
Данные окружающей среды					
Давление в ресивере	кгс/см²	2,1	1,9	1,1	0,4
Атмосферное давление	кПа	103,4	103,4	103,4	103,4
Относительная влажность	%	28,8	25	32	32
Абсолютная влажность	г/кг	9,9	8,57	10,41	10,41
Температура окружающей среды	°C	35	35	34	34
Температура продувочного воздуха	°C	43	42	38	38
Регулятор					
Индекс топливных насосов	мм	81	79,6	65,67	49,67
Топливо					
Замеренный расход топлива	кг/ч	1918,8	1730,5	1199,9	649,2
Воздух					
Расход воздуха	кг/ч	96 546	81970,49	53699,22	33305,31
Выпускные газы					
Поток выпускных газов	кг/ч	98464,77	83700,96	54899,15	33954,51
Данные замеров выбросов					
Концентрация CO ₂	%	4,3	4,58	4,84	4,18
Концентрация O ₂	%	15,38	15,01	14,57	15,41
Концентрация NO ₂	ppm	19,76	19,25	11,63	11,97
Концентрация NO _x	ppm	848,27	829,31	646,7	666,96
Поправочные коэффициенты					
NO _x влажный/температурный поправочный коэффициент		1,033485	1,005141	1,025041	1,040235
Сухой/влажный поправочный коэффициент		0,952275	0,952376	0,947547	0,952068
Выбросы NO _x					
Массовый выброс NO _x	кг/ч	127,85	105,46	54,73	35,59
Удельный выброс NO _x	г/кВтч	13,38	12,47	9,71	11,99
Весовой коэффициент		0,2	0,5	0,15	0,15
Удельный выброс NO _x	г/кВтч	13,38	12,47	9,71	11,99
Мощность ГД	кВт	9553	8460	5638	2968

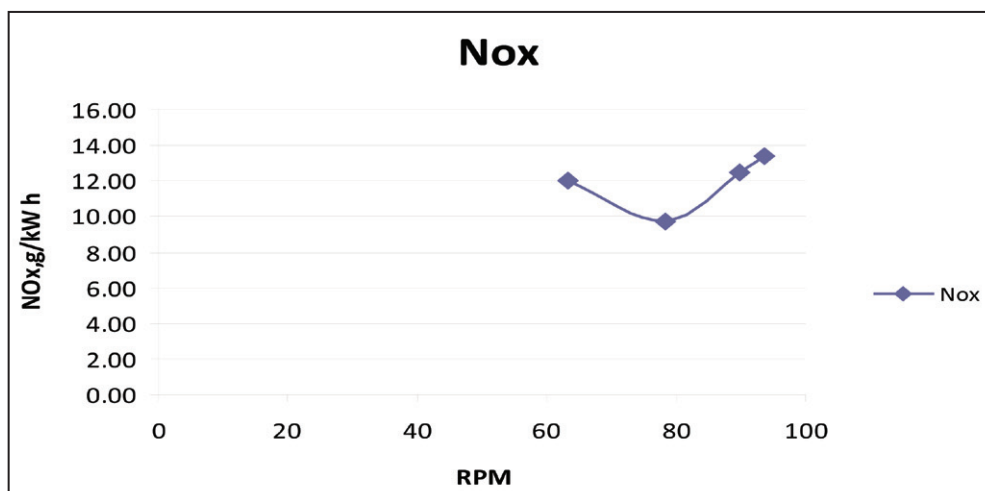


Рис. 2. Зависимость удельных выбросов NO_x с отработанными газами от частоты вращения главного двигателя 6S60MC

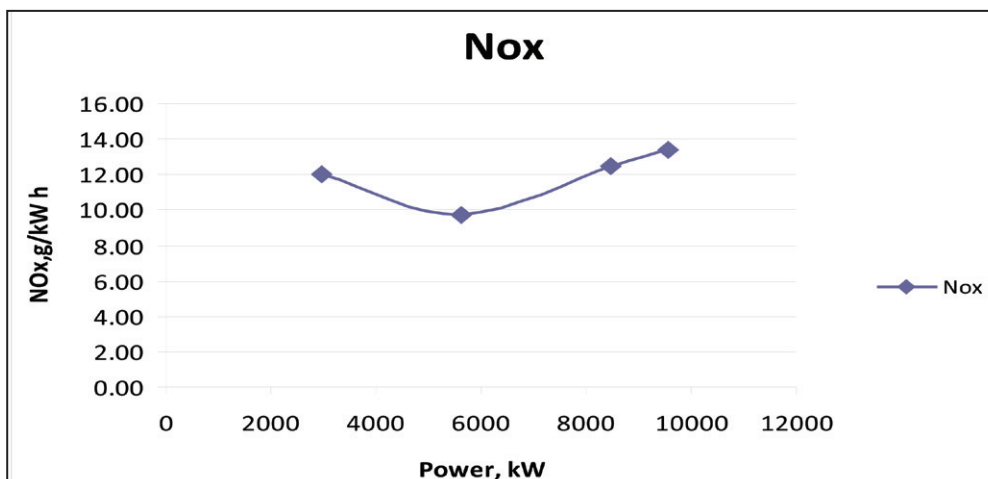


Рис. 3. Зависимость удельных выбросов NO_x с отработанными газами от мощности главного двигателя 6S60MC

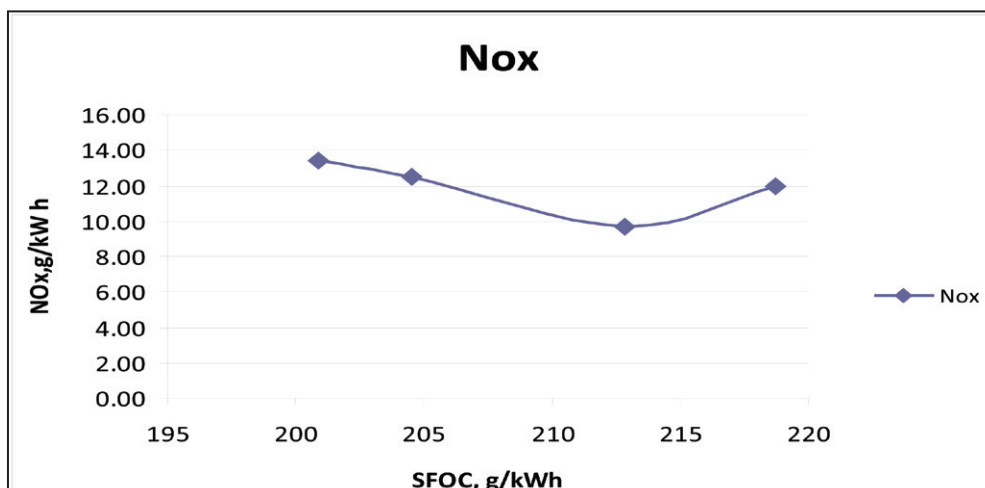


Рис. 4. Зависимость удельных выбросов NO_x с отработанными газами от удельного расхода топлива главного двигателя 6S60MC

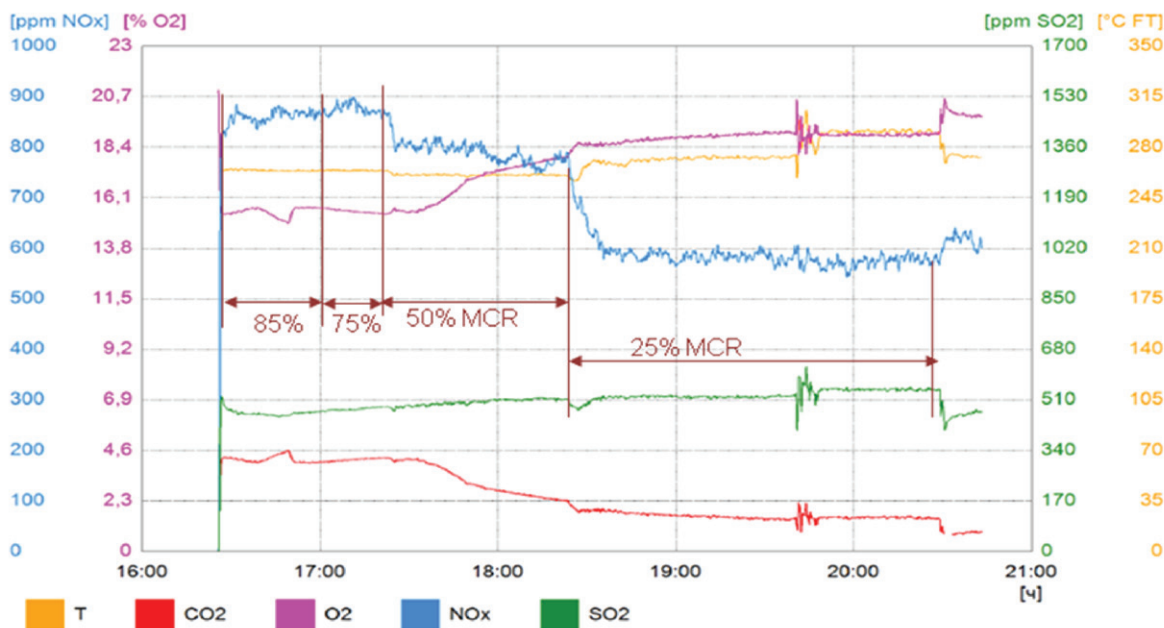


Рис. 5. Состав отработанных газов главного двигателя 6S60MC в широком диапазоне нагрузок дизеля: 85–25 % MCR

В результате выполненного Энергетического аудита по разработанной в СКФ «Новошип» методике контроля получены следующие данные для дизеля 6S60MC:

1) главный двигатель танкера B&W 6S60MC на всех режимах мощности соответствует действующим международным нормативам по выбросам окислов азота (NO_x) в отработанных газах;

2) выбросы CO_2 главного двигателя использованы для расчета EEOI (оперативного индекса энергетической эффективности), который составил в 2011 г. 8,82 г/тонно-милю при среднем значении для судов данного класса 8,77 г/тонно-милю и плановом показателе работы судов флота на 2011 г. 11,8 г/тонно-милю;

3) выбросы компонента SO_x в отработанных газах главного двигателя используются для учета масс выбросов отработанных газов в атмосферу судами компании и расчетов КРП природоохраны (Key performance indicator), являющегося одним из показателей энергетической эффективности работы компании [9, с. 12–14].

Список литературы

1. Международная конвенция МАРПОЛ 1973 г., изм. протоколом 1978 г. МАРПОЛ 73/78 / ЦНИИМФ, ООО «МОРСАР». — СПб., 2008. — 760 с.
2. Резолюция II конференции МЕРС ИМО. Технический кодекс по контролю за выбросами окислов азота из судовых дизельных двигателей. — СПб.: Гипрорыбфлот, 2009.
3. Guidelines for voluntary use of the ship Energy Efficiency Operational Indicator / International Maritime Organization (IMO). МЕРС. 1/Circ. 684, Ref. T5/1.01. — L., 2009. — 12 p.
4. IMO Technical File. Hyundai B&W 6S60MC, Certified as 'Parent engine'. Identification/approval number Hyundai B&W 6S60MC 2006-04-AA1669 / Hyundai Heavy Industries Co., LTD. — Ulsan, Korea, 2006. — P. 33-8.
5. International Ship Managers Association (InterManager). Shipping KPI. Final Report. — 2009. — Vol. 1.1.

6. ГОСТ Р 51249-99. Государственный стандарт Российской Федерации. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения / Госстандарт России. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2005. — 17 с.

7. ГОСТ 30574-98. Межгосударственный стандарт. Дизели судовые тепловозные и промышленные. Измерение выбросов вредных веществ с отработавшими газами. Цикл испытаний. — Минск: ИПК Изд-во стандартов, 1999. — 90 с.

8. ГОСТ 10448-80. Межгосударственный стандарт. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Приемка. Методы испытаний. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. — 38 с.

9. Зиненко Н. Н. Решение проблем охраны окружающей среды в компании «СКФ Новошип» / Н. Н. Зиненко // Материалы IX науч.-техн. конф., 17–18 декабря 2010 г. / МГА им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. — Новороссийск, 2011.

10. Пат. 110068 РФ. Система мониторинга энергоэффективности и экологической безопасности судов (S3ES-Novoship) / Зиненко Н. Н., Пруцков А. Г., Бордунов Б. В., Букаренко Ю. Г., Мартынович Е. С., Яременко Е. В., Панамарев В. Е.; патентообладатель ОАО «Новошип». — 2011.

УДК 502.3

М. А. Вострикова,
канд. техн. наук,
ФГБОУ ВПО «Краснодарский государственный
университет культуры и искусств»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СНИЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ВЫБРОСАМИ ОКСИДОВ СЕРЫ ОТ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

MODELING REDUCTION OF AIR POLLUTION EMISSIONS OF SULFUR OXIDES FROM SHIPS POWER PLANTS

В статье рассматривается проблема снижения выбросов оксидов серы от судовых энергетических установок путем применения установки поглощения газовых выбросов (УПГВ) с двухступенчатой очисткой. Приводится полученная при помощи метода планирования эксперимента математическая модель.

The article deals with the problem of reducing sulfur oxide emissions from ship power plants through the use of the installation of the absorption of gas emissions with two-stage cleaning. Provides obtained using the method of experiment planning mathematical model.

Ключевые слова: морские суда, выбросы, токсичность, атмосфера, загрязняющие вещества, оксид серы, топливо, способы очистки.

Key words: ships, emissions, toxicity, atmosphere, pollutant, sulfur oxide, fuel, cleaning method.

РАСТУЩИЕ масштабы распространения загрязняющих веществ над океаном в результате сжигания топлива, особенно эмиссия в атмосферу оксидов серы, вызывают все большие опасения, и данная проблема усугубляется по мере роста мирового флота и растущих глобальных масштабов потребления бункерного топлива [1].

Одним из перспективных способов очистки продуктов сгорания от выбросов соединений серы с судовых энергетических установок является применение установок поглощения газовых

выбросов (УПГВ). Устройство представляет собой двухступенчатое смешивание газа с жидкостью и используется для очистки газовых потоков [2].

На первой ступени процесс осуществляется в струйном аппарате за счет пульсационной подачи насыщенного пара, который в процессе инъекции загрязненного потока с более низкой температурой конденсируется и поглощает в процессе конденсации отдельные компоненты газового потока. Поглощение газов конденсатом пара происходит также на перфорированных поверхностях, размещенных в диффузоре струйного аппарата коаксиально, подверженных вибровоздействию и дополнительно охлаждаемых тепловыми трубами, оребрением одного конца которых являются перфорированные поверхности. Вторая ступень служит для растворения непоглотившихся компонентов газового потока в жидкости за счет пористого фильтра, вибрирующего и смоченного жидкостью. Процесс поглощения газа жидкостью происходит в порах смачиваемого фильтра при его вибрации.

Принцип действия УПГВ 5 заключается в следующем. Продукты сгорания поступают в бак-основание через патрубок в верхней его части и, контактируя с водой, предварительно заливаемой в бак, несколько охлаждаются и очищаются. Далее газы направляются в блоки для фильтров, заполненных кассетами. Одновременно в работу включается система орошения, представляющая собой вибратор и душирующее устройство, в которое вода подается насосом через задвижку из бака-основания. Вибрация передается коробам и кассетам. Таким образом, продукты сгорания проходят через смоченные и вибрирующие кассеты противотоком навстречу стекающей воде. Кассеты представляют собой многослойные (до 10 слоев) сетчатые фильтры. Образующиеся на этих фильтрах пленки жидкости под действием вибрации обеспечивают процесс вибротурбулизации. Известно, что в этом процессе растворимость газов в воде существенно увеличивается [4]. После коробов остаточные газы дымососом откачиваются из отсека и направляются в дымовую трубу. Анализ дымовых газов осуществляется перед входом продуктов сгорания в бак-основание и перед дымососом. Вода циркулирует по замкнутому контуру до насыщения растворившимися оксидами. Контроль этого процесса выполняется по величине pH воды. При достижении pH6 часть воды сбрасывается в дренаж и на ее место доливается свежая вода. Отбор проб воды осуществляется через штуцер. Вибратор представляет собой электродвигатель, вал которого выходит за обмотки статора. На обоих концах вала установлены дебалансы — грузики, смещаемые относительно центра вала. Изменение положения дебалансов позволяет задавать амплитуду колебаний, от которой существенно зависит процесс поглощения оксидов. В реальных условиях была смонтирована УПГВ 6, аналогичная по конструкции УПГВ 5, но оборудованная предварительной ступенью очистки продуктов сгорания в виде струйного аппарата (рис. 1).

Для определения эффективности очистки продуктов сгорания от оксидов серы в струйном аппарате были проведены эксперименты на установке поглощения газовых выбросов УПГВ 6, оборудованной предварительной ступенью очистки продуктов сгорания в виде струйного аппарата (рис. 1). Струйный аппарат создан на базе результатов лабораторных исследований и использования геометрического и газодинамического подобия по числу Рейнольдса (Re) для модели и натурного образца с использованием положений [5].

Расход дымовых газов определялся по расходу топлива и материальному балансу при измерении температур и расходов орошающей жидкости и продуктов сгорания на входе и выходе УПГВ 6. Для анализа продуктов сгорания использовался газоанализатор типа IMR 3000 P.

Результаты эксперимента показали, что в струйном аппарате при смешении продуктов сгорания и водяного пара, который направлялся в приемную камеру струйного аппарата из рядом расположенного парового котла в количестве, соответствующем коэффициенту инъекции, процент поглощения оксидов составил по SO_2 около 68 %. После струйного аппарата газовый поток направлялся в УПГВ 6, в которой поглотилось: 75 % SO_2 от остаточной после струйного аппарата концентрации. Общий процент поглощения оксидов по предлагаемой схеме очистки продуктов сгорания достигает 92 % по SO_2 , что позволит обеспечить выполнение требований Приложения VI Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов (MARPOL 73/78).

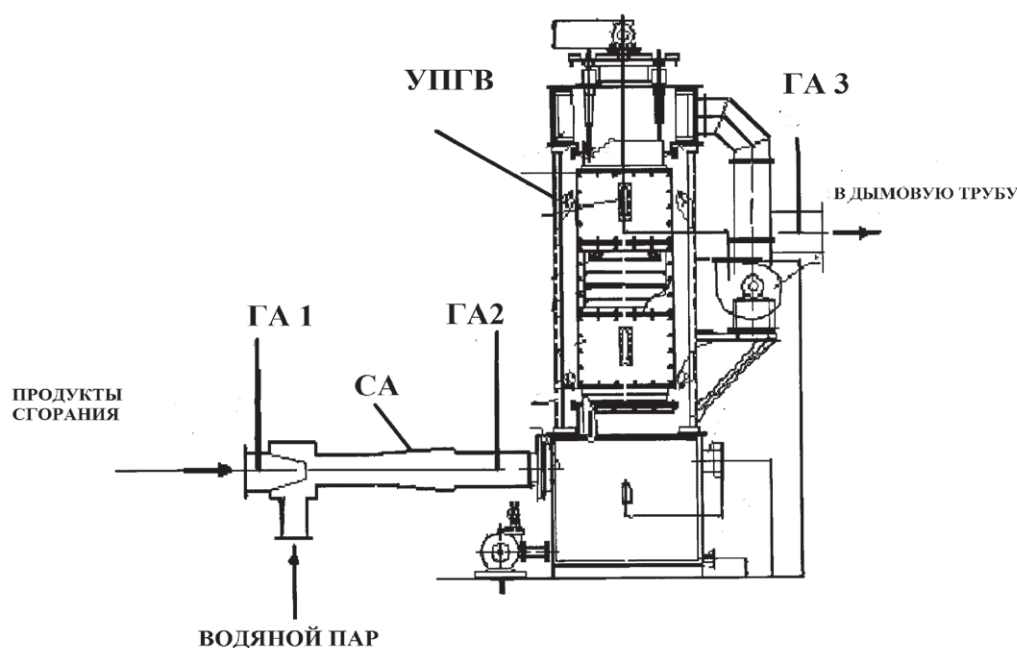


Рис. 1. Схема присоединения струйного аппарата к УПГВ 6:
СА — струйный аппарат;
ГА1, ГА2, ГА3 — места отбора проб продуктов сгорания на газоанализатор IMR-3000P

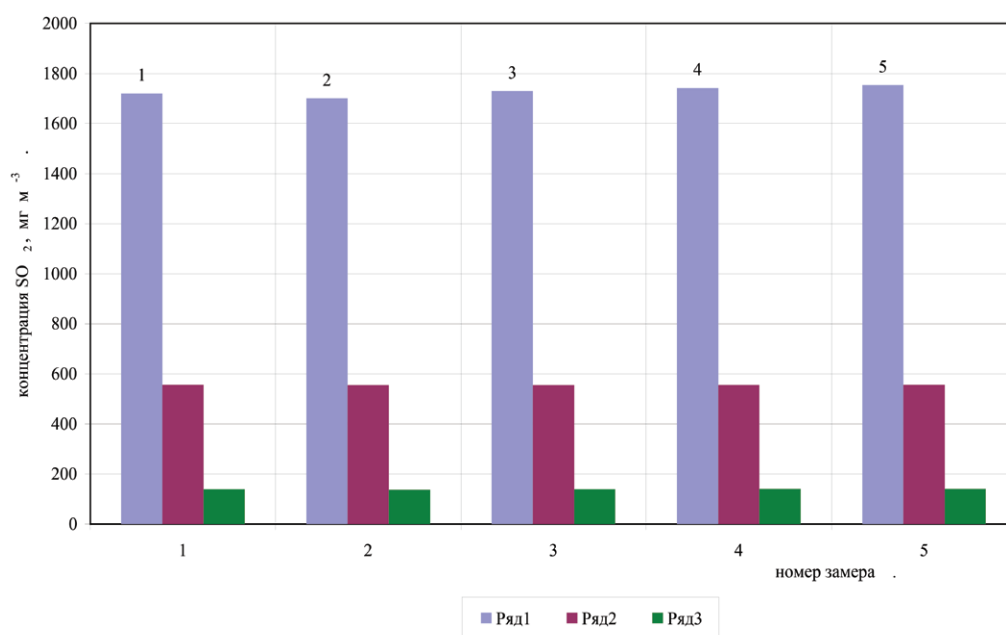


Рис. 2. Изменение концентрации SO_2 по газовому тракту в процессе испытаний УПГВ 6:
ряд 1 — точка замера ГА1 (до струйного аппарата);
ряд 2 — точка замера ГА2 (после струйного аппарата);
ряд 3 — точка замера ГА3 (после УПГВ 6)

Эксперименты были проведены по специальному плану с целью получения математической модели, которая описывает влияние расхода активного потока модельного газа и исходной концентрации в нем диоксида серы на конечную концентрацию диоксида серы. Разработка этого плана осуществлялась с учетом рекомендаций теории планирования эксперимента [3].

Математическая модель, представляющая собой уравнение регрессии, задаваемое полиномом второй степени, в общем случае имеет следующий вид:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2, \quad (1)$$

где y — исследуемая величина (концентрация диоксида серы на выходе из струйного аппарата), мг/м^3 ; x_i, x_j — значения факторов в кодированном масштабе; b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} — оценки коэффициентов уравнения регрессии.

Для отыскания неизвестных оценок b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} применяется метод наименьших квадратов с использованием зависимостей регрессионного анализа. При этом приняты следующие допущения: независимые факторы x_i, x_j заданы абсолютно точно и являются неслучайными величинами. Также предполагается, что случайная величина y распределена по нормальному закону, а ее дисперсии в отдельных точках факторного пространства однородны.

Для определения оценок коэффициентов уравнения (1) используется план по схеме полного факторного эксперимента. При этом каждый из двух независимых факторов (z_1 — концентрация диоксида серы на входе в струйный аппарат мг/м^3 ; z_2 — расход активного потока, $\text{м}^3/\text{с}$) варьировался на трех уровнях: +1 — высокое значение фактора; 0 — среднее значение фактора; -1 — низкое значение фактора.

Матрица планирования эксперимента, значения факторов в натуральном масштабе и в безразмерной системе координат, а также результаты эксперимента и рассчитанные значения исследуемой величины представлены в табл. 1.

Таблица 1

Матрица планирования и реализация полного факторного эксперимента

№ опыта	Факторы в натуральном масштабе		Факторы в безразмерной системе координат				Исследуемая величина		
							Из эксперимента	Из полного уравнения	Из упрощенного уравнения
	z_1	z_2	x_1	x_2	$x_1^2 - \frac{2}{3}$	$x_2^2 - \frac{2}{3}$	y	$\hat{y}$	$\hat{y}_{\text{упр}}$
1	200	0,0020	-1	-1	1/3	1/3	11,6	11,00	10,96
2	200	0,0025	-1	0	1/3	-2/3	16,4	17,61	17,57
3	200	0,0030	-1	+1	1/3	1/3	26,9	26,30	26,26
4	400	0,0020	0	-1	-2/3	1/3	22,3	22,31	22,31
5	400	0,0025	0	0	-2/3	-2/3	31,34	31,30	31,30
6	400	0,0030	0	+1	-2/3	1/3	42,4	42,37	42,37
7	600	0,0020	+1	-1	1/3	1/3	33,1	34,70	34,66
8	600	0,0025	+1	0	1/3	-2/3	46,3	45,07	45,03
9	600	0,0030	+1	+1	1/3	1/3	57,9	58,52	58,48

С целью приведения матрицы планирования эксперимента к ортогональному плану квадратичные столбцы x_j^2 были преобразованы с использованием следующего линейного преобразования [3]:

$$x'_j = x_j^2 - \bar{x}_j^2 = x_j^2 - \sum_{i=1}^N x_{ji}^2 / N = x_j^2 - 6/9 = x_j^2 - 2/3, \quad (2)$$

где $N = 9$ — количество опытов в эксперименте.

Так как матрица планирования является ортогональной, то все коэффициенты уравнения регрессии (1) определяются независимо друг от друга по формуле

$$b_j = \sum_{i=1}^N x_{ji} y_i / \sum_{i=1}^N x_{ji}^2. \quad (3)$$

Например, для определения коэффициента b_1 при x_1 необходимо получить сумму произведений столбца с x_1 в безразмерной системе координат на столбец с y . Затем находим значение b_1 :

$$b_1 = \sum_{i=1}^9 x_{1i} y_i / \sum_{i=1}^9 x_{1i}^2 = 82,4 / 6 = 13,73.$$

Аналогично были определены эффекты единичных, двойных и квадратичных взаимодействий: $b'_0 = 32,02$; $b_2 = 10,03$; $b_{12} = 2,38$; $b_{11} = 0,04$; $b_{22} = 1,04$.

Дисперсии коэффициентов уравнения (1) определяются по формуле

$$s_{b_j}^2 = s_{\text{воспр}}^2 / \sum_{i=1}^N x_{ji}^2. \quad (4)$$

В результате расчетов по матрице с преобразованными столбцами для квадратичных эффектов получается уравнение следующего вида:

$$\hat{y} = b'_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{11} (x_1^2 - \bar{x}_1^2) + b_{22} (x_2^2 - \bar{x}_2^2). \quad (5)$$

Для перехода к обычной записи b_0 определяется по формуле

$$b_0 = b'_0 - b_{11} \bar{x}_1^2 - b_{22} \bar{x}_2^2 = 32,02 - 0,04(2/3) - 1,04(2/3) = 31,3 \quad (6)$$

и оценивается с дисперсией, равной

$$s_{b_0}^2 = s_{b'_0}^2 + (\bar{x}_1^2)^2 s_{b_{11}}^2 + (\bar{x}_2^2)^2 s_{b_{22}}^2. \quad (7)$$

С целью определения дисперсии воспроизводимости $s_{\text{воспр}}^2$, знание которой необходимо для проверки значимости коэффициентов уравнения регрессии, в центре плана были поставлены дополнительно три параллельных опыта и получены следующие значения y :

$$y_1^0 = 39,37; y_2^0 = 39,22; y_3^0 = 39,85; \bar{y}^0 = \sum_{u=1}^3 y_u^0 / 3 = 39,48;$$

$$s_{\text{воспр}}^2 = \sum_{u=1}^3 (y_u^0 - \bar{y}^0)^2 / 2 = 0,108; s_{\text{воспр}}^2 = 0,329.$$

Затем с использованием выражений (4) и (7) были оценены дисперсии всех коэффициентов уравнения регрессии, которые оказались равными:

$$s_{b'_0}^2 = 0,06; s_{b_1}^2 = s_{b_2}^2 = 0,018; s_{b_{12}}^2 = 0,027; s_{b_{11}}^2 = s_{b_{22}}^2 = 0,054.$$

Значимость всех коэффициентов уравнения регрессии оценивается по критерию Стьюдента.

Для этого по формуле $t_j = |b_j| / \sqrt{s_{b_j}^2}$ рассчитывается t -отношение:

$$t_0 = 127,8; t_1 = 102,5; t_2 = 74,9; t_{12} = 14,5; t_{11} = 0,2; t_{22} = 4,5.$$

Табличное значение критерия Стьюдента для уровня значимости $p = 0,05$ и числа степеней свободы $f = 2$ $t_{0,05}(2) = 4,3$. Так как t -отношение для коэффициента b_{11} оказалось меньше табличного значения, то коэффициент является незначимым и его можно исключать из уравнения регрессии. Все остальные коэффициенты являются значимыми и их нельзя исключать из уравнения. После исключения незначимого коэффициента уравнение регрессии будет иметь следующий вид:

$$\hat{y} = 31,3 + 13,73x_1 + 10,03x_2 + 2,38x_1x_2 + 1,04x_2^2. \quad (8)$$

Проверим адекватность полученного уравнения по критерию Фишера:

$$F = s_{\text{ост}}^2 / s_{\text{воспр}}^2$$

здесь

$$s_{\text{ост}}^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 / (N - l) = 0,0096 / 4 = 0,0024,$$

где l — число значимых коэффициентов в уравнении регрессии, равное 5.

Тогда $F = 0,0024 / 0,108 = 0,022$. Табулированное значение критерия Фишера для $p = 0,05$, $f_1 = 5, f_2 = 2$, $F_{1-p}(f_1, f_2) = 19,3$. Так как $F < F_{1-p}(f_1, f_2)$, то полученное уравнение регрессии (8) адекватно описывает эксперимент.

Следовательно, полученная математическая модель может быть использована для оценки влияния расхода активного потока модельного газа и исходной концентрации в нем диоксида серы на конечную концентрацию диоксида серы, получаемую в результате использования предложенного струйного аппарата.

Список литературы

1. Туркин А. В. Снижение загрязнения атмосферы очисткой продуктов сгорания судовых и корабельных энергетических установок / А. В. Туркин // Материалы VII регион. науч.-техн. конф. — Новороссийск: МГА, 2008.
2. Комиссаров К. Б. Комплексная очистка дымовых газов теплогенерирующих установок: моногр. / К. Б. Комиссаров, С. А. Лутков, А. В. Филь — Ростов н/Д: Филиал МГА имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, 2007. — 134 с.
3. Ахназарова С. Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. — М.: Высш. Шк., 1978. — 319 с.
4. Рамм В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. — М.: Химия, 1976. — 655 с.
5. Дьяконов Г. К. Вопросы теории подобия в области физико-химических процессов / Г. К. Дьяконов. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — 349 с.

УДК 502.7:627.215.2

Е. Г. Трунин,
канд. экон. наук,
ФАУ «Российский речной регистр»

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ В РЕЧНЫХ ПОРТАХ

PREDICTION OF ENVIRONMENTAL POLLUTION WHEN ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN RIVER PORTS

В статье рассматривается вопрос краткосрочного прогнозирования загрязнения окружающей среды. Показана возможность применения для решения этого вопроса аппарата искусственных нейронных сетей.

In article considers the question of short-term forecasting of environmental pollution. The possibility to apply for a decision on this question of the apparatus of artificial neural networks is shown.

*Ключевые слова: прогнозирование, речной порт, нейронные сети, загрязнение, окружающая среда.
Key words: forecasting, river port, neural networks, pollution, environment.*

ОДНОЙ из важнейших задач при управлении природопользованием является прогнозирование загрязнения окружающей среды (ОС) на основе результатов которого могут приниматься соответствующие управленческие решения [1]. В условиях работы речных портов наибольший интерес вызывает краткосрочное прогнозирование загрязнения атмосферного воздуха в результате аварийного либо залпового выброса загрязняющих веществ, содержащихся в обрабатываемых грузах.

Для краткосрочного прогнозирования загрязнения ОС возможны две постановки задачи: на заданное время и на заданное расстояние.

В данной работе рассматривается вариант краткосрочного прогнозирования на заданное время. При этом задача краткосрочного прогнозирования может быть сформулирована как прогноз на последующий период времени $T + 1$ в точке контроля k и непосредственно на следующий момент времени $\tau + 1$ после момента наблюдения.

Прогноз осуществляется по совокупности значений концентраций s -го загрязняющего вещества, полученных на станциях контроля k в дискретные моменты времени $\tau = 1, 2, \dots, N, \tau \in T, N$ — количество замеров на интервале $T(C^{ks}(\tau \in T))$ и множеству значений метеопараметров, полученных в те же моменты времени $\tau MP_m(\tau \in T)$ ($m = 1, M$ — количество метеопараметров).

Следовательно, для прогнозирования загрязнения воздуха s -й примесью на заданный последующий период времени $T + 1$ в точке контроля k необходимо знать: значения концентраций $C^{ks}(T)$ загрязняющего компонента s , полученные в точке контроля k на интервале времени T в дискретные моменты времени $\tau = 1, 2, \dots, N, \tau \in T$, и значения метеопараметров $MP_m(T)$ ($m = 1, M$), полученные на интервале наблюдений T и рассматриваемые как кусочно-постоянные функции, то есть $MP_m(T) = [MP_m^{\min}, MP_m^{\max}]$. Прогноз осуществляется при условии, что на интервале времени $T + 1$ метеоусловия сохраняются. Модель прогнозирования загрязнения ОС на заданный период времени имеет вид:

$$C^{ks}(T + 1) = f_{42}(C^{ks}(T), MP_m(T)), \quad (1)$$

где

$$C^{ks}(T) = f_{43}(C^{ks}(\tau \in T)) \text{ и } MP_m(T) = f_{44}(MP_m(\tau \in T)). \quad (2)$$

Одним из методов поставленной задачи является использование аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС), получивших в последнее время широкое применение в различных областях науки [2]. Вместе с тем, учитывая специфику краткосрочного прогнозирования по времени, необходимо проведение дополнительных исследований, основной целью которых является определение ограничений применительно к решению задачи краткосрочного прогнозирования загрязнения ОС. В данной работе выполнены исследования влияния на точность прогнозирования топологии (архитектуры) ИНС, количества входных переменных и величины горизонта прогнозирования. Исследования проведены на примере двух загрязняющих веществ: фенола и диоксида серы. В качестве инструмента исследования использовался программный продукт NEURAL NETWORKS, содержащийся в программной оболочке STATISTICA 6.0.

Особенностью данного программного продукта является «мастер создания нейронных сетей», который предусматривает как ручную, так и автоматическую процедуру обучения и тестирования ИНС. В результате моделирования выбираются наиболее оптимальные варианты топологии ИНС для решения поставленной задачи. В качестве входных переменных использовались концентрации соответствующих загрязняющих веществ C и метеоданные (скорость ветра v , направление ветра ϕ , температура воздуха T) представленные Росгидрометом. В процессе проведения численных экспериментов на вход ИНС подавались следующие наборы входных переменных:

модель А: $X = \{x_1, x_2, \dots, x_{20}\} = \{C_{t-4}; C_{t-3}; C_{t-2}; C_{t-1}; C_t; v_{t-4}; v_{t-3}; v_{t-2}; v_{t-1}; v_t; \varphi_{t-4}; \varphi_{t-3};$
 $\varphi_{t-2}; \varphi_{t-1}; \varphi_t; T_{t-4}; T_{t-3}; T_{t-2}; T_{t-1}; T_t\};$

модель Б: $X = \{x_1, x_2, \dots, x_{16}\} = \{C_{t-3}; C_{t-2}; C_{t-1}; C_t; v_{t-3}; v_{t-2}; v_{t-1}; v_t; \varphi_{t-3}; \varphi_{t-2}; \varphi_{t-1}; \varphi_t;$
 $T_{t-3}; T_{t-2}; T_{t-1}; T_t\};$

модель В: $X = \{x_1, x_2, \dots, x_{12}\} = \{C_{t-2}; C_{t-1}; C_t; v_{t-2}; v_{t-1}; v_t; \varphi_{t-2}; \varphi_{t-1}; \varphi_t; T_{t-2}; T_{t-1}; T_t\},$

где $X = \{x_1, x_2, \dots, x_{16}\}$ — вектор входных переменных ИНС;

$C_t; C_{t-1}, \dots, C_{t-4}$ — концентрация соответствующего загрязняющего вещества соответственно на момент прогноза и моменты времени один шаг, два шага, три шага, четыре шага назад (шаг в данной работе равен 6 ч);

$v_t; v_{t-1}, \dots, v_{t-4}$ — скорость ветра в указанные выше моменты времени;

$\varphi_t; \varphi_{t-1}, \dots, \varphi_{t-4}$ — направление ветра в указанные моменты времени;

$T_t; T_{t-1}, \dots, T_{t-4}$ — температура воздуха в указанные выше моменты времени.

Для каждой модели (А, Б, В) исследованы ИНС при четырех горизонтах прогнозирования: шаг вперед (6 ч), 2 шага вперед (12 ч); 3 шага вперед (18 ч); 4 шага вперед (24 ч).

При обучении ИНС для каждого загрязняющего вещества были использованы 998 наборов исходных данных, часть которых использовалась для контрольных и тестовых проверок качества обучения ИНС. В процессе обучения ИНС определена ее топология, обладающая наилучшими показателями качества обучения (корреляция, среднеквадратичная ошибка) в виде трехслойного или четырехслойного подсети (рис. 1). Вторые и третьи слои содержат от 10 до 50 нейронов (в каждом случае количество нейронов в слое выбиралось индивидуально на основании показателей качества обучения ИНС). Окончательный выбор количества нейронов в промежуточных слоях произведен на основании показателей качества прогнозирования по исходным данным, которые не использовались при обучении ИНС (сеть их не «видела»). В качестве примера на рис. 2 приведены графики концентрации фенола для моделей А, Б, В и горизонте прогнозирования на один шаг вперед (6 ч). Результаты моделирования представлены в табл. 1, 2.

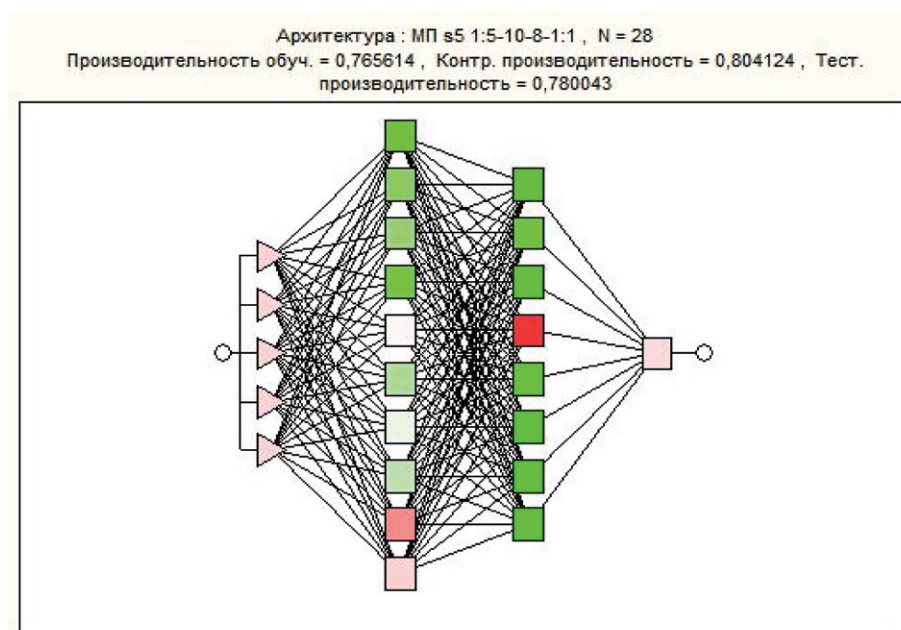


Рис. 1. Общая структура нейросети на основе многослойного персептрона

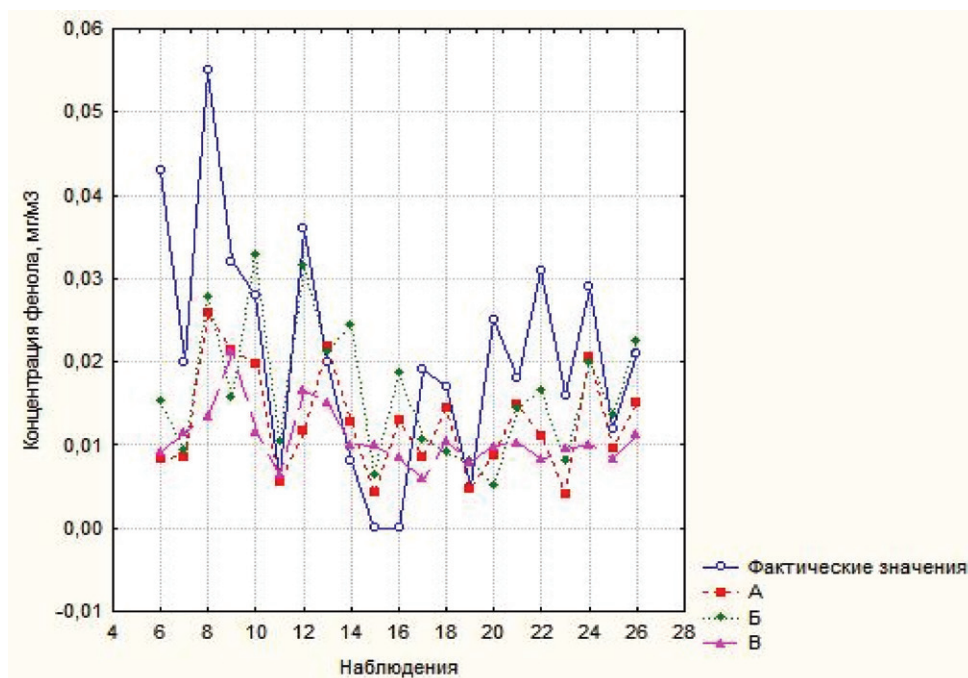


Рис. 2. Прогнозирование изменения концентрации фенола на 1 шаг вперед (6 ч)

Таблица 1

Результаты прогнозирования концентрации фенола

№	Наименование показателя	На 1 шаг			На 2 шага			На 3 шага			На 4 шага		
		А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В
1	Корреляция	0,56	0,48	0,45	0,57	0,50	0,34	0,48	0,43	0,32	0,39	0,44	0,32
2	Ошибка прогнозирования	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
3	Индекс согласованности	0,85	0,89	0,77	0,83	0,90	0,73	0,82	0,88	0,72	0,79	0,88	0,61

Таблица 2

Результаты прогнозирования концентрации диоксида серы

№	Наименование показателя	На 1 шаг			На 2 шага			На 3 шага			На 4 шага		
		А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В
1	Корреляция	0,13	0,36	-0,25	0,14	0,40	-0,31	0,12	0,31	-0,03	-0,05	0,39	-0,16
2	Ошибка прогнозирования	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
3	Индекс согласованности	0,67	0,66	0,62	0,67	0,66	0,63	0,66	0,66	0,65	0,64	0,66	0,64

Ошибка прогнозирования RMSE и индекс согласованности D определялись соответственно по формулам (3) и (4):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}; \quad (3)$$

$$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n \{ |P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}| \}^2}, \quad (4)$$

где P_i — прогноз сети для i -го набора входных переменных;
 O_i — фактические значения концентраций загрязняющих веществ для i -го набора входных переменных;
 $\bar{O}$ — среднее значение фактических концентраций загрязняющих веществ;
 n — количество наборов входных переменных.

Сравнение результатов прогнозирования фенола и диоксида серы показывает, что приемлемые по точности результаты получаются для прогнозирования загрязняющих веществ, изменение концентрации которых связано в основном с изменением метеопараметров (в данном случае это фенол). Для других веществ (например, диоксид серы) для получения необходимой точности прогнозирования необходимо подавать на вход ИНС переменные, учитывающие изменение концентрации этих веществ от других параметров (например, от химических реакций в атмосферном воздухе и т. п.). Поскольку практически это выполнить достаточно сложно, то предлагаемый подход можно использовать для краткосрочного прогнозирования только тех загрязняющих веществ, изменения концентраций которых связаны в основном с изменением метеопараметров.

Исследование влияния на точность прогнозирования количества входных переменных (модели А, Б, В) показало, что уменьшение количества входных переменных с 20 (модель А) до 12 (модель В) приводит к снижению корреляции в среднем на 20 %, увеличению ошибки прогнозирования в два раза, уменьшению индекса согласованности на 10 %. Однако увеличение числа входных переменных повышает точность прогнозирования до определенного предела, что связано с известным эффектом «переобучения сетей» [2]. Это показали и выполненные эксперименты, поскольку наиболее точные результаты получены при количестве входных переменных, равном 16 (модель Б).

Влияние горизонта прогнозирования исследовались для четырех его значений: на один шаг вперед (6 ч), на 2 шага вперед (12 ч), на 3 шага вперед (18 ч), на 4 шага вперед (24 ч). Результаты численных экспериментов показали, что все показатели точности прогнозирования меняются незначительно (для модели Б), корреляция снижается на 8 %, ошибка прогнозирования не меняется, индекс согласованности уменьшается на 1 %. Вместе с тем установлено, что при увеличении горизонта прогнозирования более 4 шагов (24 ч) точность резко падает и сеть практически перестает работать.

Таким образом, выполненные исследования применения ИНС для краткосрочного прогнозирования загрязнения ОС (на примере загрязнения атмосферного воздуха) позволяют сделать следующие выводы:

- показана возможность применения ИНС для краткосрочного прогнозирования по времени загрязнения ОС на основе предыдущих значений концентраций загрязняющих веществ и переменных, влияющих на изменение этих концентраций (метеопараметров);
- наилучшая точность прогнозирования достигается при архитектуре ИНС виде трех- или четырехслойного персептрона с числом входных переменных не менее 12 при максимальном горизонте прогнозирования на 4 шага вперед.

Список литературы

1. Наумов В. С. Управление окружающей среды на промышленных предприятиях водного транспорта: моногр. / В. С. Наумов. — Н. Новгород: Изд-во ВГАВТ, 2002. — 220 с.
2. Нейронные сети / под ред. В. П. Боровикова — М.: Горячая линия — Телеком, 2008. — 309 с.

УДК 502.1/2:656

И. В. Липатов,
д-р техн. наук, профессор,
ФБОУ ВПО «Волжская государственная
академия водного транспорта»;

А. Е. Пластинин,
канд. техн. наук, доцент,
ФБОУ ВПО «Волжская государственная
академия водного транспорта»

ОЦЕНКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ

EVALUATION HYDRODYNAMIC CONDITIONS IN DURING LIQUIDATION OF OIL SPILLS

Обоснована необходимость решения трехмерных уравнений Навье–Стокса численным методом для расчета гидродинамических условий при разливах нефти. Приведен пример решения этой задачи для участка аварийности транспортных судов на реке Волге. Разработан комплекс матриц локализации и ликвидации разливов нефти.

The article substantiates the necessity solving three-dimensional equations Navier-Stokes using numerical method of calculating the hydrodynamic conditions in the case of oil spills. An example is given to solve this task for transport vessels at the site of accident on the Volga River. Complex matrixes are engineered for localization and liquidation of oil spills.

Ключевые слова: разлив нефти, ликвидация, локализация, гидродинамические условия, уравнения Навье–Стокса, матрицы.

Key words: oil spills, liquidation, localization, hydrodynamic conditions, equations Navier-Stokes, matrixes.

В НАСТОЯЩЕЕ время сохраняется высокий уровень риска возникновения чрезвычайных ситуаций, сопряженных с разливами нефти (ЧС(Н)) на объектах водного и трубопроводного транспорта на внутренних водных путях (ВВП). Практика локализации и ликвидации рассматриваемого вида ЧС свидетельствует о недостаточной эффективности этого вида деятельности в условиях ВВП в рамках Единой государственной системы по предупреждению и ликвидации ЧС природного и техногенного характера [1, с. 152–157; 2, с. 130–135; 3, с. 129–135].

Одним из ключевых факторов, определяющих эффективность мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС(Н) является соответствие организации и технологии ответных действий при разливе нефти (РН) гидродинамическим условиям, в которых необходимо выполнять работы по локализации и ликвидации РН (ЛРН) на водном объекте.

В связи с этим необходимым условием решения данной проблемы является совершенствование методологии прогнозирования и оценки гидродинамических факторов, что позволит повысить точность моделирования РН, обеспечит выбор эффективных рубежей локализации и тактики реагирования.

Действительно, в речных турбулентных потоках с высокими скоростями течения увеличивается интенсивность большинства процессов, происходящих в нефтяном пятне (растворение нефти, естественная дисперсия (рассеивание), эмульгирование, увеличение вязкости, эффект уноса нефти под плавающее боновое ограждение (при скорости более 0,3 м/с), диффузия, осаждение нефти (за счет неровного дна и наличия точек сжатия потока, бурного перемешивания и увеличения контакта нефти с водой)).

Гидродинамические условия (скорость течения и интенсивность турбулентности) определяют выбор стратегии и тактики ЛРН. Например, скорость течения увеличивается в глубоководных частях рек и понижается с уменьшением глубины около берега из-за эффекта трения со стороны дна и особенностей формирования пространственной кинематической структуры потока. Поэтому нефть будет следовать сообразно основному направлению доминирующего вектора скорости течения реки. В дальнейшем из-за активизации турбулентных касательных напряжений, шлейф нефти получает тенденцию к дрейфу в области малых скоростей поверхностного речного потока. Определяющим фактором кинематической структуры на поверхности реки является характер уровня режима на конкретном участке реки, а также наличие дополнительных техногенных воздействий (сбросы через плотины, попуски ГЭС, дополнительная боковая приточность и т. д.). Таким образом, даже в пределах навигации места нефтесбора и технология ЛРН меняются. При этом на реках сборное оборудование в основном закрепляется на берегах рек или располагается на акватории [4; 5].

На больших реках используется комбинация стационарного и самоходного нефтесборного оборудования. Необходимо учитывать осадки судов и оборудования при работе на мелководье.

Ниже приведены характерные особенности рек, влияющие на выбор стратегии и тактики ЛРН.

1. Эродированные участки формируются на берегах, где течение изменяет направление. Они используются как естественные точки сбора.

2. Течение реки имеет тенденцию к формированию каналов с быстрым течением на внешней стороне изгибов реки. Очень часто берега в этих местах крутые, в то время как внутренняя часть часто пологая с песчаными берегами и малыми скоростями. Нефть отклоняется в зоны с малыми скоростями течений (внутрь изгиба реки).

3. Места впадения притоков в главную реку часто вызывают перекрестное течение, увеличивающее скорость основного течения. Отклонение и задержание нефти производится выше по течению от точки впадения, где скорость, как правило, ниже. Обычно ниже и выше места впадения существуют водовороты, которые используются как естественные места сбора. Малые скорости течения притоков используются для сбора отклоненной нефти в том случае, если они не являются приоритетными зонами.

4. Острова вызывают сжатие течения реки, которое обычно приводит к повышению скорости вокруг острова. Нефть должна быть собрана и задержана до или после таких мест. Очень часто на нижней по течению части острова формируются возвратное течение и водовороты. Здесь используется оборудование, работающее на малых скоростях течения.

5. Искусственные объекты (пирсы, пристани и т. д.) улавливают нефть и очень затрудняют ее сбор. Нефть отклоняется от таких конструкций. Облицовка берегов из камня или бетона затрудняет заякоривание и в случае загрязнения нефтью трудно очищается. Ил и песок собираются позади запруд в водоворотах, плавающая нефть может собираться там же. Работающие около песчаных преград позади островов и запруд должны быть предупреждены о том, что преграда может быть нестабильной и не выдержать вес людей и оборудования. Дамбы и шлюзы могут быть использованы как точки сбора нефти, но высокая скорость поступления воды часто требует, чтобы они оставались открытыми для предотвращения затопления берегов и преград.

Таким образом, ЛРН необходимо производить в зонах пониженных скоростей и турбулентности: внутренний радиус изгиба речного русла, ответвления потока в более низкое русло, старицы, водовороты в нижних оконечностях островов, застойные водоворотные зоны и т. д.

Гидродинамические условия определяют количество и тип боновых ограждений, нефтесборных устройств и другого оборудования для ЛРН с точки зрения эффективности их работы.

Большинство оборудования ЛРН по принципу работы на скоростях течения делится на оборудование, эффективно работающее при скоростях до 0,5, от 0,5 до 1, от 1 до 1,5 м/с [4; 5].

Следует отметить, что оценка гидродинамических условий связана с многочисленными трудностями научно-методического характера: обширная география местоположения возможных

источников ЧС(Н); широкие диапазоны изменения гидрометеорологических условий; значительное количество сценариев ЧС(Н) и т. п.

Для описания движения реальных турбулентных потоков (в том числе речных) в XIX в. было предложено уравнение Навье–Стокса. Учитывая невозможность его полного решения для пространственного случая в XIX — середине XX в., применительно к различным предметным областям (прикладным задачам) рядом ученых предлагались различные упрощения и модификации, гипотетически приемлемые в каждом конкретном случае. Например, для водных речных сред не учитывалось изменение плотности воды от давления и температуры. К тому же в гидродинамике исторически пользовались понятием «турбулентные напряжения». Это обстоятельство в совокупности с интересом к осредненным по времени характеристикам подвигло Рейнольдса к выводу своей более упрощенной системы гидродинамических уравнений.

В результате, помимо базовых искомым кинематических характеристик — скорости и давления, в уравнении стали фигурировать нормальные и касательные напряжения, действующие в каждой точке. Учитывая, что турбулентные напряжения в потоке (согласно гипотезе Рейнольдса) связаны со скоростью через первую производную, появилась возможность математически упростить изначальную систему гидродинамических дифференциальных уравнений в аналитическом виде и тем самым приблизиться к частным конкретным решениям.

Наиболее удачной адаптацией полных уравнений Навье–Стокса для решения задачи о распространении волн половодья по речному руслу была предложена в работах Сен-Венана, где волна половодья рассматривалась как одномерная с обязательным наличием свободной границы. Помимо этого, были введены дополнительные физические допуски и достаточно грубые (применительно к речным потокам) геометрические упрощения. Отчасти это позволило начать считать волновые задачи, и в речной гидродинамике стали появляться реальные решения задачи о распространении волн половодья в руслах рек. Причем первые реальные решения получались методом ЭГДА (электродинамических аналогий, то есть аналогии математического описания движения тока в электрической цепи и движения волны половодья в реке).

Таким образом, уравнения Рейнольдса, а тем более уравнения Сен-Венана, являются вариантом упрощения изначальной системы Навье–Стокса. Если уравнения Рейнольдса позволяют учесть все нюансы геометрии речного потока, то уравнения Сен-Венана существенно упрощают как физическую сторону процесса, так и огрубляют геометрию потока. Это касается следующих моментов.

1. Согласно постулату Рейнольдса турбулентные напряжения связаны со скоростью и прямо пропорциональны второй производной от каждой компоненты скорости потока в точке. У Сен-Венана вторые производные вообще отсутствуют, а что касается учета наличия продольных и поперечных скоростей в каждой точке, то изначальный постулат от одномерности потока сводит ситуацию к абсурду. Естественно, когда речь идет о расчете длинного потока с постоянным поперечным сечением, когда интенсивность турбулизации равновесна во всех точках (под такие задачи и выводилось уравнение Сен-Венана изначальное), то через поведение свободной поверхности можно подогнать коэффициент шероховатости (коэффициент валидации и полуобратным методом верифицировать модель). Но корректность результата при таком подходе вызывает вопрос. Окончательную неопределенность в перспективе использования уравнения Сен-Венана для решения задачи поверхностного течения возникает в случае наличия на поверхности льда. Свободная поверхность в этом случае отсутствует вообще. В то время как она является обязательной частью как начальных, так и граничных условий для системы Сен-Венана. В подледном состоянии речной поток «заперт» между дном и льдом и использование для описания его поведения волнового уравнения без свободной границы потребует внесения дополнительных допусков, корректность, которых вызывает большие сомнения (если, конечно, это в принципе возможно).

2. Кратко останавливаясь на геометрической аппроксимации русла, нужно учесть, что уравнения Сен-Венана «вытягивают» его в прямой канал с изменяющимся живым сечением русла, ввиду специфики вариационной формулировки задачи для последующего формирования матриц рас-

четных величин. Несмотря на полноценное отображение формы русла визуализатором, алгоритм формирования расчета, подчиняясь уравнению Сен-Венана, для расчетной процедуры существенным образом огрубляет исходные геометрические данные (работы акад. Марчука, проф. Милитева, Кучмента). Таким образом, природные мезоформы речного русла (меандры, отвесные берега, осередки перекаатов и пр.) аппроксимируются крайне приближенно. Методические исследования кафедры ВПиГС ВГАВТ, а также исследования BAW (немецкий Институт водного строительства) показывают, что поверхностная картина векторов течений существенно искажается.

3. Имеется еще ряд моментов, делающих неприемлемым использование уравнений Сен-Венана для моделирования поверхностных течений с целью определения динамики разлива нефти по поверхности реального речного потока.

Почти все существующие в настоящее время программы, применяемые в гидрологической и океанологической практике, используют алгоритмы решения уравнений Рейнольдса или Сен-Венана. При этом турбулентные характеристики отдельно не рассматриваются, они лежат в ядре программ — их правильное задание или определение обеспечивает верификацию (валидацию) модели.

Действительно, в гидрологической и океанологической практике более сложные уравнения Навье–Стокса применять целесообразно не всегда, хотя Мак-Кинзи (классик и первооткрыватель численного моделирования в области океанических и гидрологических течений) для своих расчетов всегда отталкивался от уравнений Навье–Стокса и в случае необходимости упрощения его до уравнений Сен-Венана очень строго обосновывал эти допущения.

При исследовании распространения нефтяных пятен приходится иметь дело с динамикой русловых потоков и моделированием реки на ограниченном участке. В связи с этим те допуски, что заложены в уравнение Сен-Венана, являются неприемлемыми. Это показывает и мировой опыт, и объективный, реальный анализ физической картины явления.

Необходимость в переходе к более сложным алгоритмам как раз и вызвана тем, что в уравнениях Сен-Венана всегда приходится подгонять результаты расчета под натурное положение кривой свободной поверхности с помощью коэффициента валидации. Поэтому для корректности решения задачи встает объективная необходимость в многократном снятии мгновенных связей уровней при различных отметках поверхности воды, поскольку даже при незначительном поднятии уровня, когда поток пойдет на пойму или начнет заполнять пересохшие протоки, эта величина начнет меняться не в разы, а в десятки раз, что иллюстрируют работы лаборатории почвенно-эрозионных процессов МГУ (в случае ледостава использование такого подхода в принципе вызывает сомнение).

Первоисточник этих некорректностей лежит в самой математической формулировке гипотезы Шези и последующих поисках коэффициента шероховатости или замыкающих коэффициентов (коэффициентов сопротивления русла) и пр. В разных пакетах эта процедура именуется по-разному, но суть одна: с помощью валидирующего коэффициента уравниваются все погрешности, связанные как с отсутствием корректного учета турбулентных членов, так и некорректности с геометрической аппроксимацией и пр. (см. работы А. Н. Кондратьева). Рассмотрение турбулентной характеристики по отдельности и наличие ее в ядре программ в совокупности с правильным заданием обеспечивает верификацию (валидацию) модели.

Все эти проблемы исчезают при решении трехмерных уравнений Навье–Стокса численным методом. Аппроксимация сетки максимально точно описывает пространственную геометрию потока со всеми нюансами (без огрублений, характерных для вариационной формулировки уравнений Сен-Венана). Корректность физической формулировки уравнений позволяет выполнять расчеты без всяких подгонок (валидации) и сразу выходить на корректный результат без дополнительных дополнительных многократных съемок связей мгновенного уровня.

Основным вопросом при исследовании растекания нефтяного пятна является плановое распространение последнего по поверхности реки. При этом турбулентные характеристики меняются не только по глубине, но и по ширине свободной поверхности. В прибрежной зоне они нарастают

от нуля с берега и интенсифицируются к середине потока, в случае прямого (линейного) русла. Для многорукавного потока (как это имеет место при низких и меженных уровнях в случаях оголения проток) влияние турбулизации (водоворотные и отрывные течения) становится доминирующим. В результате игнорирование вращательных компонент скорости (как это подразумевает уравнение одномерной волны Сен-Венана уже в своей изначальной формулировке) может привести к совершенно неожиданным результатам.

В качестве окончательных турбулентных характеристик k – ϵ гипотеза дает возможность анализировать величину турбулентной вязкости или коэффициента турбулентного обмена (более старое название). Величина этого коэффициента в свою очередь определяется через k — кинетическую энергию турбулентности и ϵ — диссипацию (распад) кинетической энергии. Таким образом, наличие значений коэффициента турбулентного обмена в каждой точке потока дает возможность оценить степень интенсификации процессов турбулизации потока в конкретной точке (области) потока.

Для моделирования турбулентности авторами предлагается использовать классический двухуровневый подход к определению осредненных компонент турбулентности (в конечном итоге нас интересует квазистационарное состояние речного потока). Суть его в том, что для описания турбулентности в прибрежных и придонных областях будут использоваться законы изменения турбулентных напряжений для пристеночных областей. В центральной области Потока, где мы имеем дело с активной развитой турбулентностью, будет использована Рейнольдсовская гипотеза турбулентности с последующей сшивкой решения по совпадающим величинам. Такой подход полностью оправдал себя при описании речной гидродинамики и активно используется в работе корпуса военных инженеров вооруженных сил США, Института проектирования на водном транспорте Германии (BAW) и пр.

Результаты ранее выполненных работ однозначно говорят о том, что полное пренебрежение вертикальными составляющими скоростей недопустимо. Если глубина потока в разы превышает неровности на дне, то некорректность отсутствует. Но если это низкие уровни, и глубина потока варьируется из-за изрезанности и многорукавности русла (что характерно для уральских и северных рек, а тем более при движении потока под льдом), то такое утверждение крайне спорно и опасно. Отчасти наличие такой точки зрения объясняется застоём российской науки и нежеланием признавать корректное математическое моделирование как таковое в совокупности с использованием максимально упрощённых математических моделей на базе уравнений Сен-Венана как «устоявшихся» и якобы безальтернативных.

В качестве примера в данной работе приведены результаты построения в системе *Pisces* поля течений и турбулентной характеристики на свободной поверхности (рис. 1, 2), а также береговой черты для участка аварийности транспортных судов 958–978 км реки Волги, полученные на трехмерной пространственной модели речного потока на базе решения системы уравнений Навье–Стокса и замыкаемых k – ϵ гипотезой турбулентности.

Определение границ зоны моделирования поверхностных течений выполнялось на основе результатов предварительного прогнозирования разлива нефти и включало несколько этапов, представленных на рис. 3.

На основе мирового опыта локализации и ликвидации РН созданы специальные матрицы выбора типов боновых ограждений, нефтесборных устройств и других средств борьбы с РН в зависимости от условий сбора нефти [4; 5]. Они показывают применимость каждого базового типа средств борьбы для сбора и задержания различных видов нефтепродуктов (легких нефтепродуктов, нефти средней вязкости и тяжелого топлива) при различных состояниях акватории и эксплуатационных условиях, включая мусор и лед.

На базе указанных матриц и полученных результатов были разработаны гидрологически ориентированные матрицы ЛРН (на примере участка аварийности транспортных судов 959 км реки Волги в районе затона «Память Парижской коммуны»). Последний РН здесь был зафиксирован 21 ноября 2013 г.

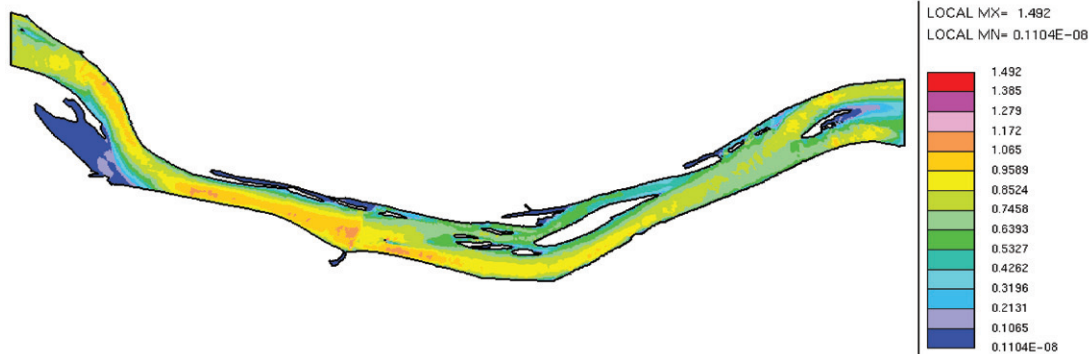


Рис. 1. Поле течений

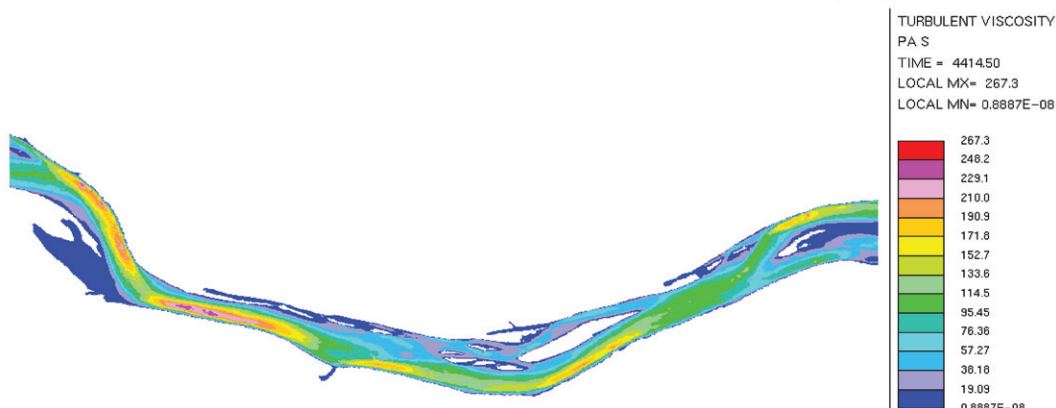


Рис. 2. Турбулентная характеристика

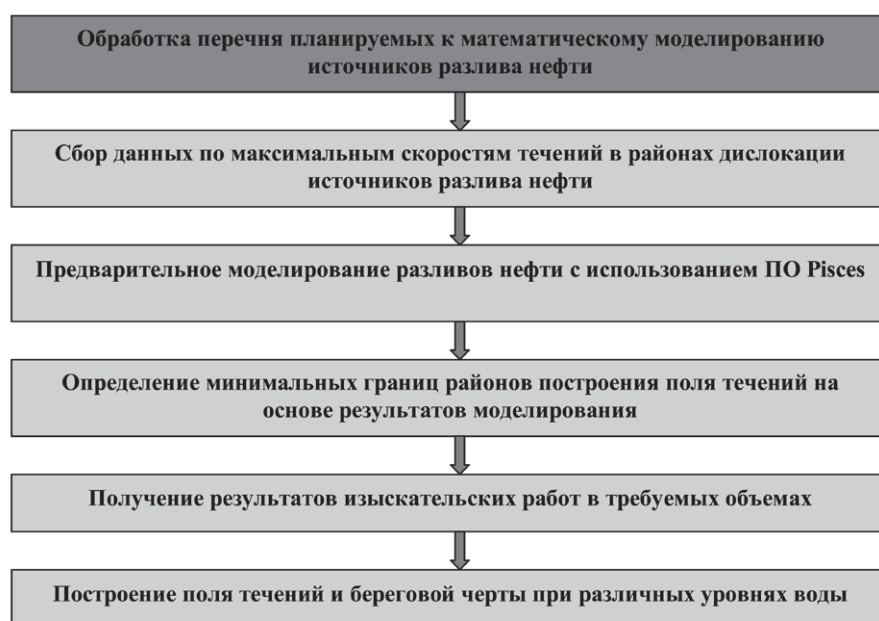


Рис. 3. Последовательность определения границ зоны моделирования поверхностных течений

В табл. 1 приведена матрица для определения угла постановки боновых заграждений в зависимости от скорости течения в отдельных зонах рассматриваемого участка аварийности.

В табл. 2 представлена матрица выбора передвижных скиммеров, где в зависимости от скорости течения показана целесообразность применения различных типов нефтесборных устройств.

Созданные матрицы были конструктивно реализованы в составе системы моделирования и анализа аварий, связанных с загрязнением окружающей среды *Piscis*, производства компании «ТРАНЗАС».

Таблица 1

Матрица для определения угла постановки бонов

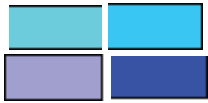
№	Обозначение зоны	Скорость течения, м/с	Угол постановки бонов, град	Длина дополнительных бонов, %
1		0,4	0	0
2		0,5	40	33
3		0,6	55	67
4		0,8	60	100
5		1,0	70	167

Таблица 2

Матрица выбора передвижных скиммеров

Скорость течения, м/с, цвет		Тип скиммера					
		Подвижный пороговый	Тросовый	Ленточный с олеофильной подъемной лентой	Щеточный	Ленточный с погруженной лентой	Ленточный со скребками
0–0,5							
0,5–1,0							
Условные обозначения:			не подходит («плохо»);				
			подходит («удовлетворительно»)				
			подходит («хорошо»)				

Выводы

1. В результате выполненных исследований обоснована необходимость применения решения трехмерных уравнений Навье–Стокса численным методом для расчета гидродинамических условий при ликвидации РН.

2. Приведен пример решения задачи оценки гидродинамических условий (скорости течения и интенсивности турбулентности) для участка аварийности транспортных судов на реке Волге.

3. Разработан порядок определения границ зоны моделирования поверхностных течений на основе реальной съемки русла реки (формирование требований к объему изысканий).

4. Впервые разработан и доведен до практического применения (конструктивно реализован в составе системы компьютерного моделирования и анализа аварий, связанных с загрязнением окружающей среды) комплекс гидрологически ориентированных матриц ЛРН, которые обеспечивают выбор эффективных средств борьбы и способа их установки на основе результатов численного моделирования поля течений и береговой черты.

Ключевым свойством предлагаемого подхода является его универсальность или независимость от применяемой системы имитационного моделирования разливов нефти.

Список литературы

1. Наумов В. С. Оценка ущерба при разливах нефти на объектах транспортного комплекса / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2010. — № 1 (5).

2. Наумов В. С. Проблема защиты экологически чувствительных территорий при разливах нефти на внутренних водных путях / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин, О. С. Нестерова // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2013. — № 3 (19).

3. Пластинин А. Е. Оценка загрязнения при разливе нефти на водную поверхность / А. Е. Пластинин // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2013. — № 2 (18).

4. Руководство по ликвидации разливов нефти на морях, озерах и реках / под ред. Г. Овчинникова. — М.; СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2002. — Вып. 22. — 344 с.

5. Мерициди И. А. Техника и технологии локализации и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов: справ. / И. А. Мерициди, В. Н. Ивановский, А. Н. Прохоров [и др.]; под ред. И. А. Мерициди. — СПб.: НПО «Профессионал», 2008. — 824 с.

УДК 556.53

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

А. И. Каляш,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

К. В. Решняк,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ОЧИСТКА НЕФТЕСОДЕРЖАЩЕЙ ПОДСЛАНЕВОЙ ВОДЫ ОЗОНОМ

CLEANING OILY BILGE WATER WITH OZONE

В статье описываются особенности процесса очистки нефтесодержащей подсланевой воды, образующейся при эксплуатации судов и их энергетических установок. Показано, что процесс окисления озоном эмульгированных нефтепродуктов является многостадийным. Причем лимитирующей стадией могут быть разные этапы этого процесса в зависимости от концентрации озона и нефтепродуктов. Наиболее быстро первые стадии процесса окисления протекают при больших значениях концентрации озона и эмульгированных нефтепродуктов.

This article describes the features of the process of cleaning oily bilge water generated during operation of ships and power plants. It is shown that the oxidation process ozone emulsified oil is multiphase. Moreover, the limiting stage can be different stages of the process depending on the concentration of ozone and petroleum products. Fastest first stage of the oxidation process occurring at high concentration of ozone concentration emulsified oils.

Ключевые слова: нефтесодержащая подсланевая вода, очистка, озонирование.

Key words: oily bilge water, cleaning, ozonation.

НЕСМОТРЯ на достигнутые в последние годы успехи в области исследований по предотвращению загрязнения окружающей среды при эксплуатации судов, эта проблема остается актуальной и в наше время. Это утверждение относится и к проблеме предотвращения загрязнения водоемов нефтесодержащей подсланевой водой (НПВ), которая неизбежно образуется при эксплуатации судов и судовых энергетических установок.

Как было уже упомянуто в ряде работ [1; 2, с. 277–281; 3; 4], предотвращение загрязнения окружающей среды от судовых загрязнений, в том числе нефтесодержащей подсланевой водой, в целом возможно с помощью судовых и внесудовых технических средств.

К первым относятся судовые установки для очистки подсланевой воды. Ко вторым — целый комплекс технических средств, так называемых внесудовых природоохранных технических средств (ВПТС), которые в общем случае обеспечивают сбор, транспортировку, временное хранение и очистку НПВ. В этих же работах показано, что для внутренних водных путей наиболее целесообразно использование ВПТС. Одними из основных причин такой целесообразности являются недостаток или отсутствие места на судне для размещения судовой установки для очистки НПВ, а также более высокие, чем к судовым установкам, требования к качеству очистки НПВ, которые иногда предъявляются к сбросу очищенной подсланевой воды на внутренних водных путях. Последнее обстоятельство предполагает применение более сложных технологий глубокой очистки НПВ, а следовательно, и более сложных по конструкции очистных устройств.

Кроме того, применение внесудовых технических средств позволяет размещать некоторые устройства для осуществления операций по очистке подсланевой воды на разных технических средствах. Это позволяет совмещать во времени и в пространстве разные операции, например очистки и временного хранения при накоплении подсланевой воды.

Как было сказано выше, на внутренних водных путях требования к сбросу очищенной подсланевой воды могут быть более строгими, чем для судовых установок для ее очистки [5; 6]. Для обеспечения таких более высоких требований необходимо применение более сложной технологии. Одним из решений указанной проблемы является применение на стадии глубокой очистки процесса очистки окислением озоном. К настоящему времени уже накоплен некоторый опыт применения озона для очистки нефтесодержащей подсланевой воды и других категорий сточной воды [7, с. 171; 8, с. 169–176; 9]. Этот опыт доказывает высокую эффективность такого способа в процессах очистки прежде всего от органических загрязнений, в том числе и НПВ от нефтепродуктов. Однако процесс очистки загрязненной воды от органических загрязнений может иметь свои особенности в зависимости от состояния, в котором находятся загрязняющие вещества.

Как известно, нефтепродукты в нефтесодержащей подсланевой воде находятся в эмульгированном состоянии, то есть в виде очень мелких частиц. Озон же находится в газообразном состоянии в смеси с воздухом. Понятно, что только контакту озона и нефтепродуктов предшествует несколько различных стадий общего процесса очистки окислением озоном. Поэтому процесс очистки окислением озоном является многостадийным. Этот процесс включает в себя следующие основные этапы:

- переход озона из озоно-воздушной смеси в воду;
- растворение озона в воде;
- диффузия озона в зону реакции с эмульгированными частицами нефтепродуктов;
- собственно реакция окисления.

В объем очищаемой воды озон подается в составе озоно-воздушной смеси. При равных условиях (прежде всего по давлению и температуре) количество озона, которое растворится в воде, зависит от его концентрации в озоно-воздушной смеси, площади и времени контакта озоно-воздушной смеси с водой. Концентрация озона в озоно-воздушной смеси зависит в основном от способа получения озона. В настоящее время озон получают путем электрического разряда в воздухе или кислороде. При этом в генераторах озона разной конструкции используют различные параметры электрического тока, например, меняя частоту и напряжение тока. Опыты по получению озона в воде (в том числе непосредственно в очищаемой, что привело бы к значительному повышению эффективности применения способа очистки озоном в целом) проводились разными исследователями, например в ЛИВТе в начале 1980-х годов В. Я. Грейсухом, но практического результата пока не дали. Но в любом случае получение озона требует применения более или менее сложного устройства, что снижает общую эффективность применения такого способа очистки. Вопрос в том, насколько сложным будет устройство для получения озона, которое потребуется в том или ином очистном сооружении или устройстве. Авторами настоящей работы был предложен свой способ решения указанной проблемы. Было предложено использовать озон, который появляется в атмосферном воздухе в зоне работы ламп ультрафиолетового излучения.

Переход озона в воду и последующее его растворение происходит через границу раздела сред воздух–вода. Как уже было сказано, эффективность этого процесса при одном и том же значении концентрации озона в озоно-воздушной смеси и температуре воды тем выше, чем больше площадь границы раздела сред и больше время, которое может быть использовано для этого процесса. Указанная задача решается путем тонкого диспергирования озоно-воздушной смеси в объеме очищаемой воды и увеличением объема очистного устройства. Последнее при неизменной производительности работы очистного устройства приводит к повышению времени присутствия очищаемой воды в устройстве и времени растворения озона в воде.

Диффузия озона в зону реакции зависит от концентрации озона в воде и концентрации эмульгированных частиц нефтепродуктов. Концентрация озона в воде зависит от нескольких процессов — процесса постоянного поступления озона в объем очищаемой воды и процесса его расходования на реакцию окисления и самораспад. В результате этих процессов концентрация озона в воде может меняться так, как показано на рис. 1.

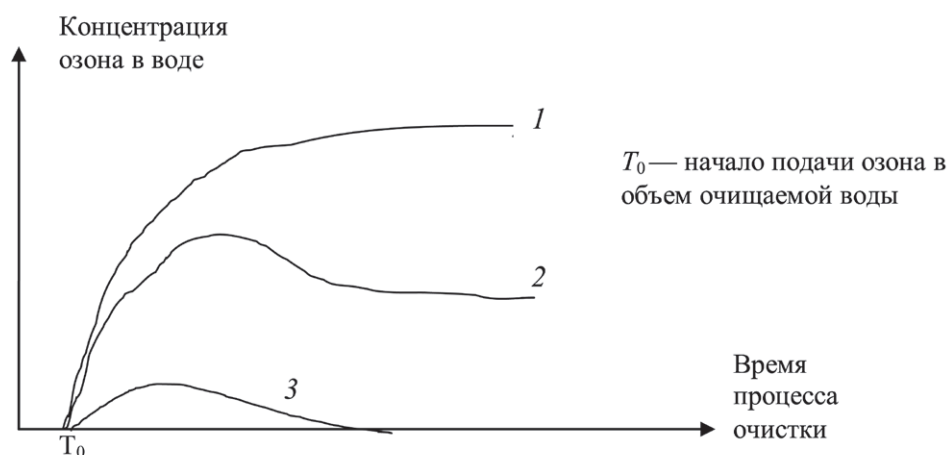


Рис. 1. Изменение концентрации озона в очищаемой воде

Кривые 1 и 2 соответствуют случаю, когда соотношение концентраций нефтепродуктов и озона таково, что в очищаемой воде поддерживается некоторое избыточное содержание озона. В зависимости от величины этого соотношения избыточное содержание озона может быть больше (кривая 1) или меньше (кривая 2). При более высоких концентрациях нефтепродуктов может возникать ситуация, когда весь поступающий озон расходуется на процессы окисления и распада, и тогда его концентрация в воде в некоторый момент времени становится равной нулю (кривая 3).

Концентрация эмульгированных нефтепродуктов в воде определяется условиями образования подсланевой воды и может быть разной. При более высоких концентрациях нефтепродуктов расстояние, которое преодолевается реагирующими веществами для их контакта, меньше и время этой стадии реакции окисления тоже меньше (см. рис. 2, а). Но с уменьшением концентрации нефтепродуктов (рис. 2, б) расстояние между реагирующими компонентами увеличивается, время диффузии реагирующих веществ (эмульгированных нефтепродуктов и озона) в зону контакта увеличивается и скорость изменения концентрации нефтепродуктов в результате окисления озоном снижается.

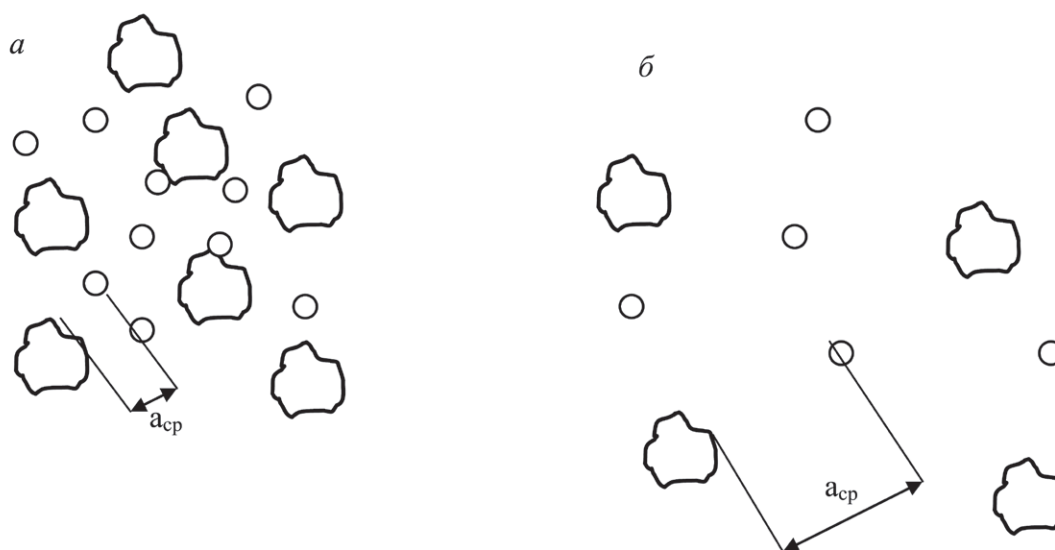


Рис. 2. Изменение расстояния между реагирующими компонентами

Причем лимитирующей стадией могут быть разные этапы этого процесса в зависимости от концентрации озона и нефтепродуктов, температуры воды и давления. Последнее чаще всего

равно атмосферному, хотя до определенных значений (примерно до 2–4 кгс/см²) технически не сложно процесс очистки осуществлять при повышенном давлении, что повысит концентрацию озона в очищаемой воде. Например, при совмещении напорной флотации и очистке озонм-воздушная смесь растворяется в очищаемой воде при повышенном давлении, что приводит к повышению эффективности окисления загрязнений.

Поэтому при постоянном объеме очищаемой воды (непроточный реактор, например, при лабораторных исследованиях) и постоянной подаче озона в очистное устройство наиболее быстро протекают первые стадии процесса окисления, когда наблюдаются высокие значения концентрации озона и эмульгированных нефтепродуктов. Затем скорость процесса окисления снижается, так как в ходе реакции снижается концентрация нефтепродуктов и увеличивается расстояние и время диффузии реагирующих веществ в зону реакции.

В проточном реакторе (в реальном очистном устройстве) процесс окисления при достаточном времени $t = T$ (рис. 3) нахождения очищаемой воды в очистном устройстве. Это время определяется как $t = V/Q$, где V — объем устройства и Q — производительность устройства. Регулируя V или Q , можно изменять время t .

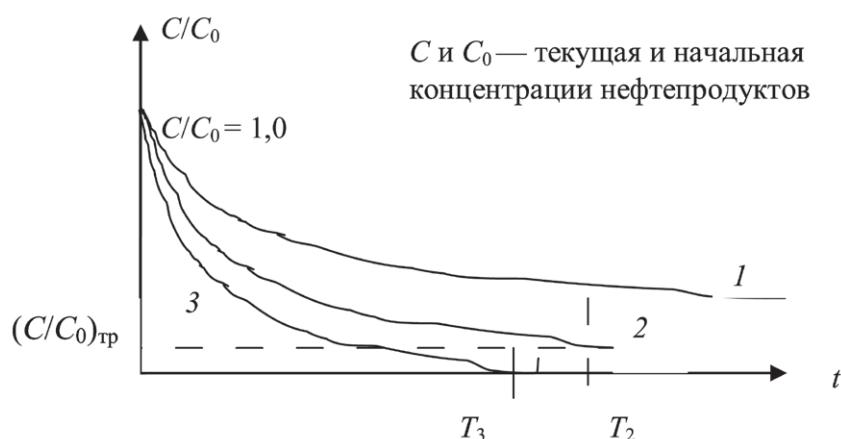


Рис. 3. Изменение остаточного содержания нефтепродуктов

Достаточным временем процесса очистки является время, когда остаточная концентрация нефтепродуктов стала равна нулю ($t = T_3$) для кривой 3 или перестала меняться ($t = T_2$) для кривой 2. В последнем случае считаем, что достигнута требуемая очистка — $C/C_0 = (C/C_0)_{тр}$.

Изменение остаточной концентрации нефтепродуктов может происходить до определенного уровня, в том числе и до нуля, после чего изменение прекращается. Момент прекращения изменений и остаточная концентрация нефтепродуктов являются основными технологическими характеристиками процесса и зависят от концентрации озона в воде и начальной концентрации нефтепродуктов.

Реакция озона с эмульгированными нефтепродуктами тоже имеет свои особенности. Озон, входя в реакционный контакт с частицами нефтепродуктов, довольно быстро окисляет верхний слой частицы (рис. 4, а). Однако последующий процесс окисления значительно замедляется, так как резко снижается скорость перемещения озона вглубь частицы эмульгированных нефтепродуктов.

Последующий процесс окисления нефтепродуктов озоном до их полного разрушения занимает много времени (в зависимости от концентрации нефтепродуктов и озона, а также в зависимости от крупности эмульгированных нефтепродуктов — до нескольких часов), что значительно снижает эффективность такого способа очистки нефтесодержащей воды. Однако многочисленные опыты по использованию озона для очистки нефтесодержащей подсланевой воды, которые проводились в ЛИВТе в 1980–1990-е гг., показали, что частично (в верхнем внешнем слое) окисленные эмульгированные нефтепродукты интенсивно коагулируют в хлопьевидную массу (рис. 4, б). Такая масса легко удаляется, например, в песчаном или другом фильтре с недорогостоящей загрузкой.

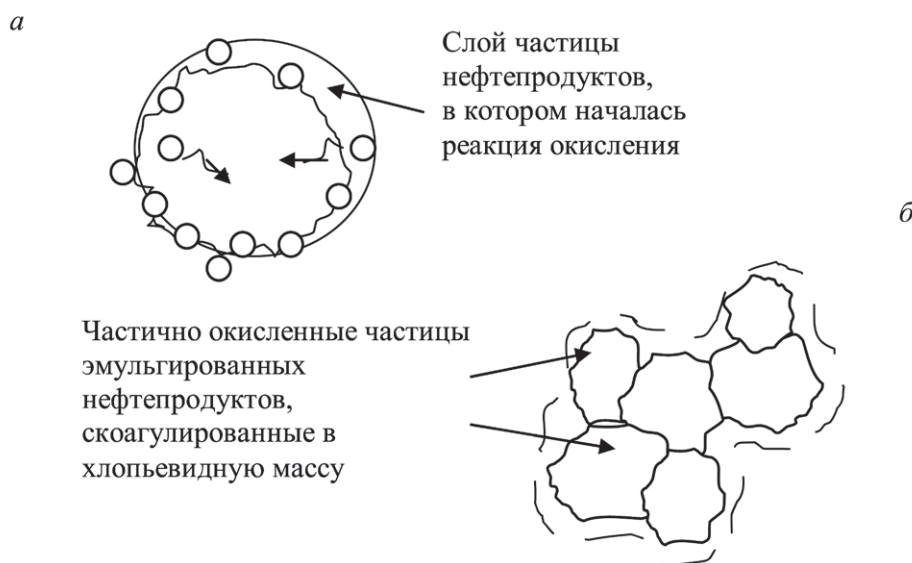


Рис. 4. Процесс окисления эмульгированных частиц нефтепродуктов озоном

Явление коагуляции частично окисленных нефтепродуктов подсказало новый технологический прием в процессе очистки нефтесодержащей подсланевой воды с помощью озона. Оказалось более целесообразным не доводить до конца (до полного разложения нефтепродуктов в процессе окисления их озоном) реакцию окисления нефтепродуктов озоном, а удалять частично окисленные и образовавшие скоагулированную массу нефтепродукты фильтрованием.

Таким образом, показано, что процесс окисления озоном эмульгированных нефтепродуктов является многостадийным. Причем лимитирующей стадией могут быть разные этапы этого процесса в зависимости от концентрации озона и нефтепродуктов. Наиболее быстро первые стадии процесса окисления протекают при больших значениях концентрации озона и эмульгированных нефтепродуктов. При этом концентрация озона должна быть больше. Реакцию окисления условно можно считать законченной в момент появления хлопьевидной массы частично окисленных нефтепродуктов, которую можно выделить в последующем фильтровании.

Список литературы

1. Наставление по предотвращению загрязнения внутренних водных путей при эксплуатации судов. — М., 2009.
2. Решняк В. И. Стратегия предотвращения загрязнения внутренних водных путей и моря при эксплуатации судов / В. И. Решняк, В. Е. Леонов // Современные и инновационные технологии: сб. тр. междунар. конф. — Херсон, 2011.
3. Решняк В. И. Предотвращение загрязнения водоемов нефтесодержащей подсланевой водой при эксплуатации судов и судовых энергетических установок: моногр. / В. И. Решняк. — СПб.: СПбГУВК, 2011. — 207 с.
4. Зубрилов С. П. Охрана окружающей среды при эксплуатации судов / С. П. Зубрилов, Ю. Г. Ишук, В. И. Косовский. — Л.: Судостроение, 1989 г. — 256 с.
5. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей / МПР РФ. — 2008.

6. Курников А. С. Актуальность применения судов комплексной переработки отходов (СКПО) в современной системе обслуживания флота / А. С. Курников, Д. С. Мизгирев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2010. — № 1.

7. Решняк В. И. Исследование особенностей процесса окисления в дисперсной системе «вода–эмульгированные нефтепродукты» / В. И. Решняк, А. С. Курников, К. В. Решняк // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2010. — № 7.

8. Мизгирев Д. С. Экспериментальные исследования современных судовых систем очистки сточных вод (СОСВ) / Д. С. Мизгирев, А. С. Курников, О. Л. Почкалов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 4.

9. Кульский Л. А. Основы химии и технологии воды / Л. А. Кульский. — Киев.: Наукова думка, 1991.

МЕЖДУНАРОДНОЕ МОРСКОЕ ПРАВО

УДК 656.614

Ю. А. Арестова,
канд. экон. наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «ГМУ имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»;

А. С. Погарская,
канд. экон. наук,
ФГБОУ ВПО «ГМУ имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ МОРСКОГО ФЛОТА РОССИИ

MODERN CONDITION (CURRENT STATUS) AND THE PROBLEM OF MARINE SEA FLEET OF RUSSIA

В статье исследуется состояние морского торгового флота России и формулируются причины негативной тенденции его количественного и возвратного состава. Изучается понятие «удобный флаг», его история возникновения и развития. Уточняются факторы, обуславливающие преимущества регистрации флота под «удобными флагами» перед его регистрацией и эксплуатацией в Российском международном реестре судов. Намечены пути решения проблем морского флота России, способствующие повышению его уровня конкурентоспособности на мировом фрахтовом рынке.

In article the condition of trade marine sea fleet of Russia is investigated, and the reasons of a negative tendency of its quantitative and returnable structure are formulated. The concept "convenient flag", its history of emergence and development is studied. The factors causing advantages of registration of fleet under by "convenient flags" before its registration and operation in the Russian international register of vessels are specified. Solutions of problems of navy of Russia, promoting increase of its level of competitiveness in the world freight market are planned.

Ключевые слова: морской торговый флот, регистрация судов, «удобный флаг», «флот по странам регистрации», «контролируемый флот», Российский международный реестр, конкурентоспособность флота России.

Key words: trade marine sea fleet, registration of vessels, "convenient flag", "fleet over the registration countries", "controlled fleet", the Russian international register, competitiveness of fleet of Russia.



А сегодняшний день каждое морское судно согласно Конвенции ООН по морскому праву, Конвенции о регистрации судов и другим международным документам должно быть зарегистрировано в каком-либо государстве и вследствие чего получить право работы под флагом данного государства. В Конвенциях определены права и обязанности «государства флага», включающие: контроль со стороны «государства флага» судна за исполнением норм национального законодательства и международного права на судах под своим флагом, выдачу судовых документов и сертификатов, инспекцию судна и т. д.

Гражданские морские суда до Второй мировой войны практически всегда регистрировались под своими национальными флагами.

В целях увеличения своего бюджета некоторые страны третьего мира образовали «открытые реестры» и стали регистрировать в них суда иностранных компаний за небольшое вознаграждение. Таким образом в 1950-х гг. появился термин «удобные флаги», получивший широкое распространение в конце XX в.

В начале своего существования «удобные флаги» имели крайне негативную репутацию, так как использовались на старых изношенных судах. Однако развивающиеся страны, желающие также использовать данную офшорную форму судоходства, не снижая при этом качества морской пе-

ревозки, выработали специальные механизмы, поддерживающие необходимый уровень безопасности мореплавания и надежности транспортировки, используя «удобные флаги». Так, в случае даже если «государство флага» не ратифицировало какие-то международные конвенции, судно под флагом данного государства не освобождается от проверок на выполнение требований этих конвенций. Кроме того, появился Государственный портовый контроль, предполагающий контроль за всеми иностранными судами со стороны государства порта с правом требования устранения замечаний вплоть до задержки судна. Также были приняты конвенции Международной организации труда (МОТ) и минимальные базовые ставки оплаты труда Международной федерацией работников транспорта (ITF). В августе 2013 г. вступила в силу Сводная конвенция МОТ о труде в морском судоходстве.

Таким образом основными факторами массового мирового ухода судовладельцев под «удобные флаги» явились:

- 1) уход от жесткого национального законодательства, бюрократии, а также высоких национальных налоговых, социальных и других финансовых выплат в пользу государства;
- 2) возможность найма дешевой рабочей силы из стран третьего мира и стран Восточной Европы, бывшего СССР;
- 3) повышение уровня конкурентоспособности флота вследствие уравнивания условий конкурентоспособности;
- 4) получение денежного займа у западных банков, требующих обязательной регистрации приобретаемого в кредит судна под «удобным флагом»;
- 5) возможность «законодательной анонимности» (регистрация по принципу «одна компания — одно судно») для судовладельцев, что затрудняет их преследование в случае гражданских и уголовных исков;
- 6) возможность для государства «реального владельца тоннажа» в случае необходимости не показывать свой национальный флот.

Генеральный директор ЗАО «ЦНИИМФ» огласил, то на начало 2014 г. российский морской флот составил 1,447 тыс. судов, общим дедвейтом 20,6 млн т. При этом дедвейт флота в странах «открытой регистрации» (то есть под «удобными флагами») составил 74 % суммарного дедвейта мирового флота.

По официальным данным UNCTAD на 1 января 2012 г., наибольший тоннаж зарегистрирован под флагами острова Мэн (328,2 млн т), Мальты (189,9 млн т), Маршалловых островов (122,9 млн т), Панама (71,3 млн т), Багамских островов (69,1 млн т), Кипра (33, 0 млн т), Либерии (22,5 млн т), Антигуа и Барбуды (14,4 млн т), Бермудских островов (11, 6 млн т), Сент-Винсента (5,6 млн т).

Таким образом, в современном международном судоходстве флот под «удобными флагами» набрал критическую массу (56,6 %) суммарного мирового тоннажа, позволяющую ему (учитывая налоговые и иные льготы данных флагов) определять условия для конкурентной борьбы за груз между судовладельцами и операторами на мировом фрахтовом рынке. (Так, если судно зарегистрировано под национальным флагом с более высоким уровнем налогов и эксплуатационных затрат, оно заведомо обречено на проигрыш за груз судам под «удобными флагами» и вынуждено искать помощи государства или снижать эксплуатационные расходы за счет более дешевой рабочей силы, снижения расходов на техническую поддержку судна и т. п.) Так, за последние 20 лет отечественные судоходные компании практически полностью вытеснены из перевозок собственных внешнеторговых грузов. В 1992 г. они доходили до 34 %, однако уже в 2013 г. их объем составил менее 3 %.

Учитывая вышенаписанное, распределение мирового флота по флагам совершенно не отражает реальной картины, что является фактором необходимости использования таких понятий, как «флот по странам регистрации» (критерий флага судов) и «контролируемый флот» (критерий — реальные владельцы тоннажа).

Более реальную картину для определения крупнейших государств — владельцев тоннажа дает критерий «контролируемый флот» (см. табл. 1).

Таблица 1

Крупнейшие в мире Государства-«судовладельцы»

Государство-«судовладелец»	Контролируемый флот, млн т	Флот под иностранными флагами, %
1. Греция	224,1	71,0
2. Япония	217,1	90,6
3. Германия	125,6	86,2
4. Китай	124,0	53,5
5. Республика Корея	56,2	69,6
6. США	54,6	79,3
7. Гонконг	45,5	36,5
8. Норвегия	43,1	66,0

*По данным UNCTAD на 1 января 2012 г.

В данном списке Россия стоит в конце второго десятка с «контролируемым флотом» 19,6 млн тонн, из которых 73 % зарегистрировано под иностранными флагами. По данным журнала «Морской вестник России» (№ 3. 2013), динамика флота, контролируемого Россией за 2009–2013 гг. представлена в табл. 2.

Таблица 2

Морской транспортный флот, контролируемый Россией

Флот	На 01.01.2009		На 01.01.2010		На 01.01.2011		На 01.01.2012		На 01.01.2013	
	ед.	тыс. т дедвейта	ед.	тыс. т дедвейта	ед.	тыс. т дедвейта	ед.	тыс. т дедвейта	ед.	тыс. т дедвейта
Флот под российским флагом	1291	5625,4	1187	5398,1	1151	5262,4	1067	5167,7	1096	5309
Флот, кон- тролируемый Россией и зарегистри- рованный под иностранном флагом, в том числе:	190	11121,6	189	12312,0	332	13932,6	351	14447,1	345	15024,5
офшорные компании	117	6261,3	114	7072	253	8138,2	216	3160,0	205	3097,8
«Совкомфлот», «Новошип»	73	4860,3	75	5240	79	5794,4	135	11341,1	140	11926,7
Всего отече- ственный флот, контролируе- мый россий- скими судовла- дельцами	1481	16747,0	1376	17710,1	1483	19195,0	1418	19614,7	1441	20333,5
В сравнении с предыдущим годом	+0,5%	+3,1 %	-7,1 %	+5,8 %	+7,8 %	+8,4 %	-4,4 %	+2,2 %	+1,6 %	+3,2 %

Из таблицы видно, что на 1 января 2013 г. общее количество судов морского транспортного флота, контролируемого Россией, составляет 1441 судно общим дедвейтом 20,3 млн т, из которых 73,9 % тоннажа (345 судов) эксплуатируется под иностранными флагами. В 1992 г. эта величина составляла только 18,4 %, в 2009-м — 66,4 %. Большинство судов, а именно 1096 ед., зарегистрировано под российским флагом, однако это только 26,1 % (5,309 млн т) от общего дедвейта контролируемого Россией флота. В большей своей массе это малотоннажные суда, зачастую имеющие возраст, близкий к предельному.

Говоря о российском флоте под «удобными флагами», необходимо различать две группы судоходных компаний:

— небольшие российские компании, имеющие морально и физически устаревший флот, переведенный под «нижнюю» часть списка «удобных флагов» с целью получения максимальной прибыли даже ценой снижения безопасности мореплавания и защищенности экипажа, что является негативной практикой, требующей пресечения;

— крупные российские компании, изначально строящие новые суда под «удобные флаги» в связи с требованием зарубежных банков. Именно поэтому под «удобными флагами» таких компаний зарегистрирован молодой, современный, крупнотоннажный флот. Взятие кредита в отечественных банках не представляется возможным, в связи с резкой негативной разницей в условиях предоставления займа по сравнению с зарубежными коллегами.

Требование зарубежных банков о регистрации под «удобными флагами» обусловлено тем, что в случае невыплаты судовладельцем кредитных средств судно-новострой, а также другие суда компании, отданные в залог банку-заемщику, отойдут ему в качестве покрытия долга. Также согласно условиям кредитных соглашений до завершения выплаты кредита суда не могут быть переведены под российский флаг. Кроме того, такой перевод сопряжен со значительными финансовыми издержками и, как уже было сказано, суда под российским флагом окажутся на менее выгодных конкурентных позициях на мировом фрахтовом рынке.

Для сохранения флота под национальными флагами Россия, как и многие другие государства-судовладельцы, использует режим так называемого второго реестра — Российского международного реестра судов (РМРС), предполагающего упрощение юридических формальностей регистрации и снижение налогооблагаемой базы. Рассмотрим РМРС подробнее.

В связи со сложившейся проблемной ситуацией 20 декабря 2005 г. Президентом РФ был подписан Федеральный закон № 168-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в связи с созданием Российского международного реестра судов».

Одним из документов, претерпевших значительные изменения, связанные с появлением РМРС, явился Кодекс торгового мореплавания РФ от 30 апреля 1999 г., в котором отражены основные аспекты регистрации и исключения судов из Международного реестра.

Одновременно с этим соответствующие изменения были внесены и в Налоговый Кодекс РФ, которые в основном коснулись величины взимаемых налоговых выплат за регистрацию и ее ежегодное подтверждение, исчисляемых в зависимости от валовой вместимости судна.

В настоящее время согласно существующему законодательству судно может быть зарегистрировано в Российском международном реестре судов на определенный срок. При этом срок регистрации может устанавливаться либо с возможностью дальнейшего продления, либо не фиксироваться вообще. Одновременно с этим регистрация судна в РМРС подлежит обязательному ежегодному подтверждению.

В свою очередь отдельно регламентируется срок регистрации судов, которые предоставляются российскому фрахтователю по договору фрахтования судна без экипажа (бербоут-чартеру). В данном случае срок регистрации судна не должен быть больше периода действия договора фрахтования, а также не может превышать срок приостановления плавания под флагом иностранного государства. Вполне закономерно, что в подобной ситуации учитывается наименее продолжительный из указанных сроков.

Также существует ряд оснований, изложенных в ст. 47 КТМ РФ, в соответствии с которыми, судно, зарегистрированное в РМРС судов, подлежит обязательному исключению из него, в частности к ним относятся [1]:

- если судовладелец подает заявление, содержащее информацию по его исключению из Реестра;
- если истекает срок регистрации судна;
- в случае неуплаты судовладельцем государственной пошлины по подтверждению регистрации судна в Реестре.

Следовательно, стоит уточнить, что включению в Российский Международный реестр судов подлежат суда, используемые в определенных целях и при определенных условиях. Основные требования, предъявляемые к судам для их регистрации, содержатся в ст. 33 КТМ РФ, к которым, в частности, относятся [1]:

1) не подлежат государственной регистрации в РМРС суда, используемые для международных перевозок грузов, пассажиров и их багажа, буксировки если они зарегистрированы в реестрах судов иностранных государств и их возраст на дату подачи заявления о государственной регистрации в Российском международном реестре судов превышает 15 лет;

2) суда, используемые для перевозок и буксировки в каботаже, при условии, что возраст этих судов на дату подачи заявления о государственной регистрации не превышает 15 лет;

3) суда, используемые для разведки и разработки минеральных и других неживых ресурсов морского дна и его недр, гидротехнических и подводно-технических работ, а также для обеспечения указанных работ и видов деятельности;

4) самоходные суда с главными двигателями мощностью не менее 55 кВт, несамоходные суда вместимостью не менее чем 80 м³, построенные российскими судостроительными организациями после 1 января 2010 г. и используемые для следующих целей.

Безусловно, реализация рассматриваемого федерального закона напрямую направлена на достижение такой приоритетной цели, как возврат флота, который принадлежит российским судовладельцам, под национальный флаг.

Для реализации данной цели были разработаны достаточно существенное налоговое послабление, которое заключается в освобождении судов от уплаты следующих налогов:

- на имущество;
- на прибыль;
- транспортный налог;
- НДС.

Таким образом, в отношении **НДС можно отметить, что** суда, зарегистрированные в РМРС, не подпадают под данный вид налога. При этом порядок обложения НДС в отношении операций по реализации работ/услуг аналогичный, то есть ставка соответственно равно 0 %.

В свою очередь при определении базы налога на прибыль не учитываются доходы судовладельцев, которые были получены от эксплуатации зарегистрированных судов.

При этом под эксплуатацией судов в данном случае следует понимать выполнение следующих работ:

- перевозка груза, пассажиров и их багажа;
- оказание сопутствующих услуг, связанных с осуществляемой перевозкой;
- сдача судов в аренду для оказания вышеперечисленных услуг.

Причем важным моментом выступает тот факт, что пункты назначения и/или отправления должны находиться за пределами РФ.

Одновременно с этим при формировании налоговой базы по налогу на прибыль расходы судовладельцев на обслуживание, ремонт и прочие цели, которые связаны с содержанием зарегистрированных судов, не учитываются.

Безусловно, анализируемый федеральный закон затронул изменения в отношении транспортного налога, который теперь не взимается с судов, прошедших регистрацию в РМРС.

В отношении налога на имущество можно отметить, что организации в отношении судов, зарегистрированных в Российском международном реестре, освобождаются от уплаты налога на имущество, что, безусловно, выступает немаловажным преимуществом.

Еще одним положительным аспектом выступает тот факт, что суда, регистрируемые в РМРС, освобождаются от уплаты таможенной пошлины, тем не менее подобное послабление требует обязательного выполнения ряда обязательных операций со стороны декларанта в строго установленные сроки.

А именно для освобождения от уплаты таможенной пошлины, декларант обязан предоставить в таможенный орган свидетельство о регистрации судна в РМРС. Помимо свидетельства, необходимо прилагать копию документа об уплате государственной пошлины за регистрацию судна в указанном реестре. При этом все необходимые документы должны подаваться в течение 45 дней с даты принятия таможенной декларации.

Таким образом, можно констатировать, что закон о Российском международном реестре судов позволяет судовладельцам значительно снизить затраты на эксплуатацию судов. Тем не менее, по сравнению с условиями регистрации в офшорах суда, зарегистрированные в РМРС, не освобождаются от уплаты единого социального налога, что, с одной стороны, обеспечивает социальную защиту моряков, а с другой — выступает ощутимым недостатком.

Бесспорно, принятие закона о Российском международном реестре судов стало важным шагом к привлечению отечественного флота под российский флаг, но регистрация судов в РМРС не получила достаточно большого распространения и для судовладельцев офшорные зоны по-прежнему оставались более привлекательными. Следовательно, было очевидно, что данного закона оказалось недостаточно для обеспечения более массового перехода судов под российский флаг.

Поэтому в целях расширения сферы действия РМРС на все типы судов в ноябре 2011 г. президентом был подписан еще один закон, направленный на государственную поддержку российского судостроения и судоходства.

Принятие данного закона явилось следующим важным этапом, способствующим развитию применения РМРС. Причем важной оговоркой выступает тот факт, что под действие данного закона попали только те суда, которые были построены после 1 января 2010 г. российскими судостроительными организациями, что, безусловно, напрямую направлено на создание благоприятных условий развития российского судостроения.

В частности, законом предусматривается освобождение от уплаты налога на прибыль в отношении доходов от каботажных перевозок, осуществляемых судами, построенными после 1 января 2010 г. на российских судостроительных верфях и зарегистрированными в РМРС.

Одновременно с этим вводится запрет на регистрацию в РМРС судов возрастом более 15 лет, состоящих в иностранных реестрах судов, а также судов, имеющих аналогичный возраст, которые используются для буксировки в каботажах.

При этом предусматривается освобождение судоходных компаний, производящих выплаты экипажам судов, зарегистрированных в РМРС, от уплаты страховых взносов во внебюджетные фонды с 2012 по 2027 г.

В свою очередь члены экипажей судов, зарегистрированных в РМРС, находящиеся за рубежом свыше 183 сут в году, по данному закону облагаются налогом на доходы физических лиц по более сниженной ставке 13 %, вместо ранее действующей ставки 30 %.

Принятые изменения также затронули налоговые и таможенные платежи, взимаемые при ввозе судна, по которым согласно РМРС предусмотрено полное освобождение. В соответствии с обновленным законодательством владельцы судов, зарегистрированных во втором реестре, будут платить лишь регистрационный взнос (1,3–4 тыс. долл. в год с судна в зависимости от тоннажа) и ежегодные потоннажные сборы (3–10 тыс. долл. с судна).

В свою очередь судовладельцы освобождаются и от обязательной продажи валютной выручки, доходы могут размещаться в иностранных банках без разрешения ЦБ РФ. Аналогично сни-

маются все ранее существующие ограничения в отношении валютных операций по финансированию покупки или аренды судов.

Таким образом, можно сделать вывод, что принятие Российского международного реестра судов направлено на изменение порядка регистрации в Реестре и призвано создать более благоприятные условия для развития российского судоходства.

При этом можно заключить, что закон направлен не только на предоставление более привлекательных условий для судовладельцев, учитывая освобождение от различных налогов и платежей, а также расширение перечня судов, имеющих возможность регистрации в Реестре, но и на установление более благоприятных условий работы членов экипажа.

Безусловно, закон разрабатывался с учетом того, что принятие РМРС должно повлиять на существенное увеличение российского флота, а также положительно сказаться на росте заказов на строительство и ремонт судов на российских верфях, что соответственно повлечет увеличение рабочих мест для плавсостава в судостроении и судоремонте.

Тем не менее на сегодняшний день статистика показывает, что отечественные судовладельцы по-прежнему в своем большинстве отдают предпочтение «удобным флагам», так как сумма налоговых выплат и платежей даже при условии регистрации в РМРС существенно превышает соответствующую сумму при регистрации в офшорах, что по-прежнему делает российский флот менее привлекательным по условиям работы на мировом фрахтовом рынке.

Таким образом, основными проблемами, препятствующими развитию морского флота России, являются:

- 1) отсутствие доступа к грузовой базе;
- 2) неблагоприятные условия национального законодательства;
- 3) необходимость реновации флота.

Для решения вопроса снижения объемов перевозки национальных грузов российским флотом, необходима государственная протекционистская политика, выраженная в установлении объема отечественных судов (не менее 50 %), обязательного к привлечению при внешнеторговых перевозках.

В целях совершенствования национального законодательства следует продолжать упрощение процедуры регистрации судов в РМРС и условий ее ежегодного подтверждения в части налоговых выплат, а также доработать механизм выдачи федеральных субсидий на строительство отечественного флота.

Предлагаемые изменения положительно скажутся как на количестве судов, зарегистрированных под российским флагом, так и на обновлении флота.

Список литературы

1. Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации от 30 марта 1999 г. № 81-ФЗ (ред. от 28 июля 2012 г. № 261-ФЗ).
2. Об утверждении Устава федерального государственного учреждения «Российский морской регистр судоходства»: приказ Федерального агентства морского и речного транспорта от 13 апреля 2005 г. № 8, Москва [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: www.consultantplus.ru — официальный сайт компании «Консультант Плюс».
3. О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в связи с созданием Российского международного реестра судов: федеральный закон Рос. Федерации от 20 декабря 2005 г. № 168-ФЗ [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: www.consultantplus.ru — официальный сайт компании «Консультант Плюс».
4. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с реализацией мер государственной поддержки судостроения и судоходства: федеральный закон Рос. Федерации от 7 ноября 2011 г. № 305-ФЗ [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: www.consultantplus.ru — официальный сайт компании «Консультант Плюс».

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК-004.056.53

С. С. Соколов,
канд. техн. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

С. С. Малов,
старший преподаватель,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

А. С. Карпина,
студент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ПОСТРОЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ МОНИТОРИНГОВОГО ЦЕНТРА ОКАЗАНИЯ ТЕЛЕМАТИЧЕСКИХ УСЛУГ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ

CREATION OF THE PERSONAL INFORMATION PROTECTED INFORMATION SYSTEM OF THE RENDERING TELEMATIC SERVICES OF SAFETY ON TRANSPORT MONITORING CENTER

В представленной статье рассматривается процесс построения защищенной информационной системы персональных данных для мониторингового центра оказания телематических услуг безопасности на транспорте. Рассмотрены все основные компоненты обеспечения безопасности: правовой, организационный, программно-технический. Описанное в статье исследование может в широком смысле служить образцом проведения предпроектного обследования объекта информатизации на предмет создания автоматизированной системы в защищенном исполнении.

In the presented article process of creation of the protected information system of personal information for the monitoring center of rendering telematic services of safety on transport is considered. All main components of safety are considered: legislative, organizational, program and technical. The research described in article can serve in a broad sense as a model of carrying out predesign inspection of object of informatization regarding creation of the automated system in the protected execution.

Ключевые слова: информационная безопасность, безопасность мониторингового центра, информационная безопасность на транспорте.

Key words: information security, safety of the monitoring center, information security on transport.

В НАСТОЯЩЕЕ время все большую популярность набирают организации по оказанию удаленных охранных услуг на региональном и федеральном уровнях. В основе их функционирования лежит технология передачи данных (GSM/GPRS) и систем позиционирования (GPS/ГЛОНАСС). Функционал данных мониторинговых центров (далее — МЦ) достаточно широк и включает в себя охранный, противопожарный, технический и информационный мониторинг.

Охрана объектов обеспечивается круглосуточно семь дней в неделю. Пользоваться услугами МЦ финансово выгоднее, чем организовывать полноценную, физическую охрану. А в случае с мобильным объектом (например, автомобилем) — это единственное возможное решение. Клиентское оборудование (датчики движения, перемещения, дыма, объема) своевременно подает сигнал тревоги на диспетчерский пункт централизованного управления, оператор которого вызывает специальные службы реагирования (полицию, скорую помощь, пожарную охрану и др.).

Работа пункта централизованного наблюдения МЦ осуществляется по следующей схеме:

1) с объектового оборудования (модули GSM, контрольные панели, датчики, блоки питания) сигнал поступает на устройство «вычислитель», который определяет примерные координаты объекта;

2) далее сигнал с «вычислителя» поступает на корректирующую матрицу — программу, которая по полученным данным уточняет координаты объекта и рассчитывает местоположение объекта на цифровой карте;

3) диспетчерский пульт централизованного наблюдения и база данных (далее — БД) — аппаратно-программное устройство, которое направляет сигналы и данные по объектам в соответствии с прописанной маршрутизацией на автоматизированные рабочие места (далее — АРМ) и ДПУ и позволяет заполнить информационные поля в АРМ ОД из БД.

Возможности МЦ позволяют к решению любой задачи применять индивидуальный подход. Объектовое оборудование для мониторинга применимо к любой АС. Возможности позволяют осуществить мониторинг технического состояния: бурильного оборудования, нефтедобывающих установок, насосных станций, мониторинг состояния магистральных и промысловых газо- и нефтепроводов.

Клиентами МЦ являются физические и юридические лица. Для занесения данных о клиенте в базу данных МЦ используются средства АС. Также, в рамках исполнения требований Трудового кодекса РФ в АС, допускается обработка персональных данных (ПДн) сотрудников.

Для обеспечения безопасности персональных данных используются методы, которые условно можно разделить на три категории:

- правовые методы [1–8];
- организационные методы;
- технические или инженерно-технические методы.

В рамках поставленной задачи — обеспечение ИБ ПДн, было произведено обследование и ознакомление со структурой отдельного МЦ. В процессе обследования МЦ была определена его организационная структура, представленная на рис. 1.

Всего в организации шесть департаментов:

- департамент продаж;
- департамент государственных и ведомственных проектов;
- департамент обслуживания клиентов;
- департамент оперативного реагирования;
- технический департамент;
- департамент бухгалтерского и налогового учета.

Каждый департамент возглавляет директор. Наряду с этим в организации есть восемь отдельных подразделений, не входящих в состав департаментов:

- сервисный центр;
- юридическая служба;
- ведущий менеджер по рекламе и PR;
- служба безопасности;
- служба персонала;
- отдел обслуживания корпоративных клиентов;
- административно-хозяйственная служба;
- менеджер по работе со страховыми компаниями.

Штатная численность организации более 500 человек. Во главе организации — генеральный директор. График работы для отдела обслуживания клиентов, оперативно-дежурной службы, call-центра, отдела эксплуатации и развития технической сети установлен круглосуточный, без выходных. Остальные отделы работают в будние дни с 09:00 до 17:00.

Здание офиса МЦ, где расположена АС, трехэтажное, кирпично-монолитное. Межэтажные перекрытия из керамзитобетона, в качестве покрытия потолка используется технология фальшпотолок, внутри которого достаточно много свободного пространства, где проведена проводка, кабели и слаботочные сети.

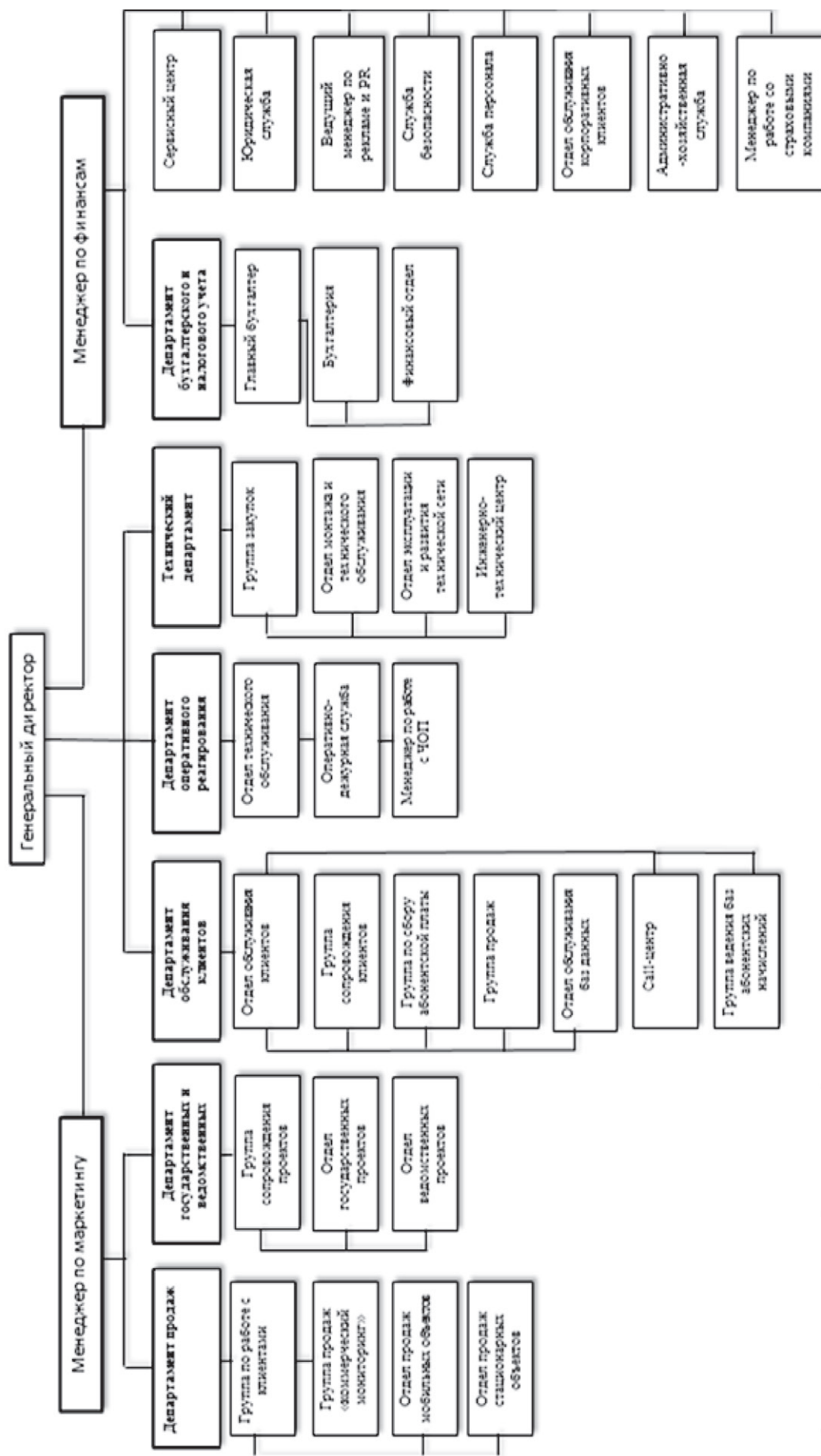


Рис. 1. Структура мониторингового центра

В предпроектном обследовании, был проведен анализ работы исходной АС МЦ. При построении схемы размещения основных технических средств и систем (далее — ОТСС) с привязкой к границе контролируемой зоны была проведена полная инвентаризация автоматизированных рабочих мест (далее — АРМ) и серверного оборудования (рис. 2).

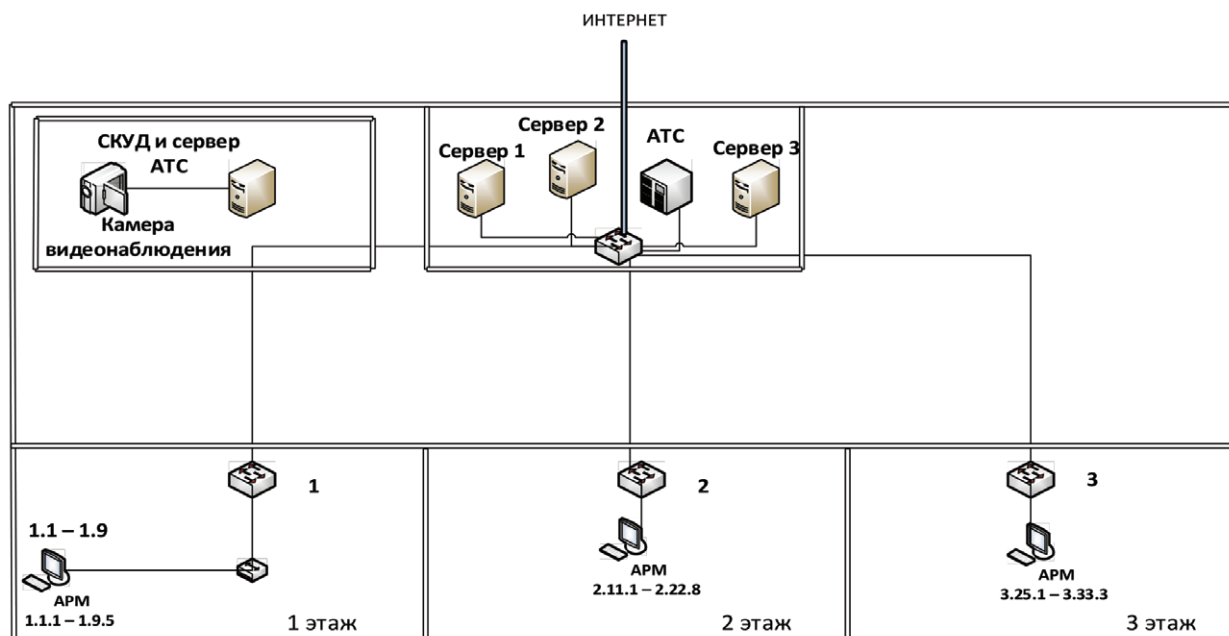


Рис. 2. Схема логики работы АС в незащищенном исполнении

На вышеуказанной схеме также показан канал организации работы с информационно-коммуникационной сетью Интернет. Доступ к Сети организован при помощи коммутационного оборудования. Межсетевой экран не используется.

АРМы объединены в единую АС посредством коммутаторов и имеют типовую структуру и конфигурацию.

Для размещения коммутационного оборудования в коридорах здания МЦ используют стандартные настенные коммуникационные шкафы (далее — КШ) с присоединительными размерами в 19 дюймов. Нумерация шкафов произведена в соответствии с номером этажа. От КШ сетевой кабель идет в управляемый коммутатор, который расположен в каждом кабинете. На каждом коммутаторе имеются 24 программируемых порта.

В МЦ используется комбинированная сетевая топология расширенной звезды. В таком варианте выход из строя одного АРМ никак не повлияет на работу сети, остальные АРМ по-прежнему взаимодействуют друг с другом.

Всего в АС используются 8 серверов, более 130 АРМ, 32 коммутатора и 3 КШ. Сетевые розетки опломбированы и пронумерованы. На серверах, являющихся продукцией компании HP, установлена лицензионная серверная операционная система семейства Microsoft. Базовая операционной системы для АРМов — Microsoft Windows 7 Professional. В АС МЦ используется типовое программное обеспечение (1С, Microsoft Office, Rander, программные средства собственной разработки и др.), установка и настройка которого производится строго в соответствии с определенным регламентом.

В АС обрабатывается как общедоступная информация, так и информация ограниченного доступа. К информации ограниченного доступа МЦ относится:

- коммерческая тайна [3];
- ПДн клиентов;
- ПДн сотрудников [5–8].

После проведенного анализа работы подразделений с сегментами было установлено, какие подразделения работают с ПДн клиентов:

- группа по работе с клиентами;
- группа продаж «коммерческий мониторинг»;
- отдел продаж мобильных объектов;
- отдел продаж стационарных объектов;
- отдел обслуживания клиентов;
- группа сопровождения клиентов;
- группа по сбору абонентской платы;
- отдел обслуживания баз данных;
- call-центр;
- группа ведения баз абонентских начислений;
- отдел технического обслуживания;
- оперативно-дежурная группа.

С ПДн сотрудников работают:

- главный бухгалтер;
- бухгалтерия;
- служба безопасности;
- служба персонала;
- менеджер по работе со страховыми компаниями.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод: практически во всех информационных подсистемах МЦ обрабатываются ПДн сотрудников и клиентов компании. Наряду с этим данные подсистемы имеют постоянный выход в Интернет и физически неразрывны друг с другом.

Схема информационных потоков ПДн между департаментами, обрабатывающими ПДн, представлена на рис. 3.

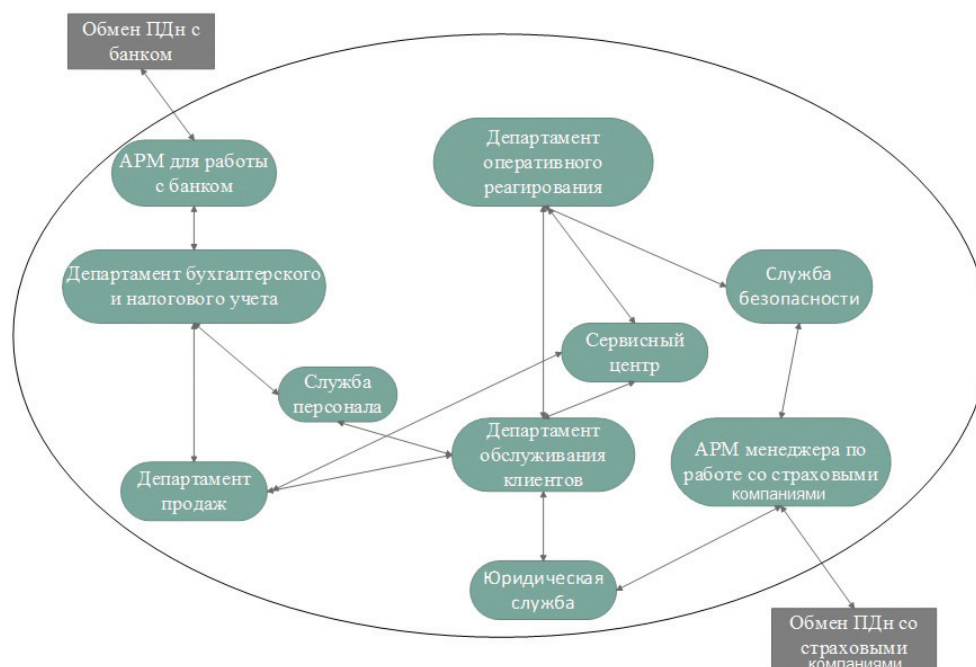


Рис. 3. Схема информационных потоков персональных данных между департаментами, обрабатывающими персональные данные

При проектировании системы защиты ИСПДн МЦ необходимо провести комплекс работ, включающий в себя:

- правовую защиту;
- организационную защиту;
- техническую защиту.

При анализе нормативно-правовой базы было установлено, что для Российской Федерации при проведении работ по построению защиты ИСПДн МЦ оказания телематических услуг безопасности в защищенном исполнении следует руководствоваться следующей нормативно-правовой базой:

- 1) Конституция РФ (ст. 24);
- 2) Федеральный закон от 19 декабря 2005 г. № 160-ФЗ «О ратификации Конвенции Совета Европы о защите физических лиц при автоматизированной обработке персональных данных»;
- 3) Федеральный закон от 29 июля 2004 г. № 98-ФЗ «О коммерческой тайне»;
- 4) Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»;
- 5) Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ «О персональных данных»;
- 6) Постановление Правительства РФ от 6 июля 2008 г. № 512 (ред. от 27 декабря 2012 г.) «Об утверждении требований к материальным носителям биометрических персональных данных и технологиям хранения таких данных вне ИСПДн»;
- 7) Постановление правительства РФ от 1 ноября 2012 г. № 1119 «Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных»;
- 8) Приказ Федеральной службы технического и экспортного контроля России № 21 от 18 февраля 2013 г. «Об утверждении состава и содержания технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных».

Детальное изучение вышеуказанной нормативно-правовой базы позволяет построить перечень минимальных организационно-правовых мер, которые необходимо выполнить оператору, в нашем случае МЦ, чтобы выполнить требования законодателя. При определении требований, исходя из того, что оператор находится на территории Российской Федерации и трансграничную передачу данных не осуществляет, были разработаны следующие документы:

- 1) Акт классификации информационной системы персональных данных;
- 2) Определение границ контролируемой зоны;
- 3) Технический паспорт ИСПДн;
- 4) Регламент разграничения прав доступа к ПДн;
- 5) Приказ о назначении администратора безопасности ИСПДн;
- 6) Руководство администратора ИСПДн;
- 7) Руководство пользователя ИСПДн;
- 8) Приказ об утверждении списка лиц, которым необходим доступ к ПДн, обрабатываемым в ИСПДн, для выполнения служебных обязанностей;
- 9) Перечень применяемых средств защиты информации;
- 10) Перечень эксплуатационной и технической документации применяемых СЗИ;
- 11) Перечень носителей ПДн;
- 12) Положение о защите ПДн;
- 13) Положение об организации режима безопасности помещений, где осуществляется работа с ПДн;
- 14) Положение о порядке хранения и уничтожения носителей ПДн.

С целью определения требований к защите ПДн при их обработке в ИС ПДн необходимо определить уровень защищенности ПДн. Для этого нужно обратиться к Постановлению Правительства от 1 ноября 2012 г. № 1119 «Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных», определяющего уровни защищенности ПДн. Сначала следует определить категорию обрабатываемых данных. Для ка-

тегирования необходимо установить, какие именно данные обрабатываются в случае, когда в АС МЦ используются ПДн сотрудников, а какие в случае использования ПДн клиентов.

К ПДн сотрудников отнесли: Ф. И. О.; паспортные данные; контактные данные; данные, необходимые для работы бухгалтерии; данные, необходимые для работы кадровой службы, в том числе сведения о состоянии здоровья; данные, необходимые для работы внутренней службы безопасности.

К ПДн клиентов отнесли Ф. И. О.; паспортные данные; контактные данные.

Исходя из этого, установлено, что в информационной системе персональных данных мониторингового центра обрабатываются ПДн трех видов: специальные, биометрические и иные категории персональных данных.

Следующим шагом устанавливаются угрозы ИСПДн МЦ. На основе пп. 1119 ч. 6 пришли к заключению, что для информационной системы персональных данных актуальны угрозы второго типа.

Далее определили класс защищенности АС: пп. 1119 ч. 10 (б, в, д), указывает, что ИСПДн мониторингового центра имеет необходимость второго уровня защищенности. Далее на представленной табл. 1 показана краткая характеристика обрабатываемых ПДн.

Таблица 1

Классификация и требования по защите

Нормативный документ		ИСПДн МЦ	
		ПДн сотрудников < 1000	ПДн клиентов > 100 000
Категории ПДн	пп. 1119 ч. 5	Специальные категории ПДн	Иные ПДн
	пп. 1119 ч. 5	Биометрические ПДн	
Тип угрозы	пп. 1119 ч. 6	Угрозы второго типа	
Уровень защищенности	пп. 1119 ч. 10 (б, в, д) пп. 1119 ч. 15	Необходимость второго уровня защищенности	
Требования безопасности	Приказ ФСТЭК № 21	СВТ	Не ниже 5-го класса
		Системы обнаружения вторжений	Не ниже 4-го класса
		Средства антивирусной защиты	Не ниже 4-го класса
		Межсетевой экран	Не ниже 3-го класса

Стоит обратить внимание на то, что персонал обрабатывает ПДн субъектов согласно своим должностным инструкциям. Полный доступ к информации конфиденциального характера имеют директор, начальник службы безопасности и специалист по защите информации на предприятии.

Теперь стоит уделить внимание техническим мероприятиям по обеспечению конфиденциальности информации в процессе проектирования объекта информатизации.

Основополагающим документом служит приказ ФСТЭК от 18 февраля 2013 г. № 21 «Об утверждении состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных». В состав мер по обеспечению безопасности персональных данных, реализуемых в рамках системы защиты персональных данных с учетом актуальных угроз безопасности персональных данных и применяемых информационных технологий, входят:

- идентификация и аутентификация субъектов доступа и объектов доступа;
- управление доступом субъектов доступа к объектам доступа;
- ограничение программной среды;

- защита машинных носителей информации, на которых хранятся и/или обрабатываются персональные данные (далее — машинные носители персональных данных);
- регистрация событий безопасности;
- антивирусная защита;
- обнаружение (предотвращение) вторжений;
- контроль (анализ) защищенности персональных данных;
- обеспечение целостности информационной системы и персональных данных;
- обеспечение доступности персональных данных;
- защита среды виртуализации;
- защита технических средств;
- защита информационной системы, ее средств, систем связи и передачи данных;
- выявление инцидентов (одного события или группы событий), которые могут привести к сбоям или нарушению функционирования информационной системы и/или к возникновению угроз безопасности персональных данных (далее — инциденты), и реагирование на них;
- управление конфигурацией информационной системы и системы защиты персональных данных.

Дополнительно согласно ч. 11. Приказа № 21 ФСТЭК России:

- проверка системного и/или прикладного программного обеспечения, включая программный код, на отсутствие недеklarированных возможностей с использованием автоматизированных средств и/или без использования таковых;
- тестирование информационной системы на проникновения;
- использование в информационной системе системного и/или прикладного программного обеспечения, разработанного с использованием методов защищенного программирования.

Для второго уровня защищенности предусмотрены 69 минимальных мер.

Согласно ч. 12 Приказа № 21 ФСТЭК России при использовании в информационных системах, сертифицированных по требованиям безопасности информации средств защиты информации, для обеспечения 1-го и 2-го уровней защищенности ПДн:

- средства вычислительной техники не ниже 5-го класса по уровню недеklarированных возможностей;
- системы обнаружения вторжений и средства антивирусной защиты не ниже 4-го класса;
- межсетевые экраны не ниже 3-го класса.

В дополнение к вышесказанному, для обеспечения 1-го и 2-го уровней защищенности персональных данных, а также для обеспечения 3-го уровня защищенности персональных данных в информационных системах, для которых к актуальным отнесены угрозы второго типа, применяются средства защиты информации, программное обеспечение которых прошло проверку не ниже чем по 4-му уровню контроля отсутствия недеklarированных возможностей.

В результате анализа всех функциональных возможностей программных средств среди средств обнаружения и предотвращения вторжений было выбрано СОВ фирмы «Рубикон». В состав данного комплекса входит маршрутизатор с поддержкой мандатных меток, построение однонаправленных шлюзов, функционал обнаружения атак по протоколам сетевого, транспортного уровня и уровня приложений, трансляции сетевых адресов. Количество сетевых портов — от 6 до 64, в том числе и оптических. Так как в его состав входит межсетевой экран, который отвечает всем требованиям по обеспечению безопасности 1-го и 2-го уровней защищенности, нам не нужно искать ему замену.

При анализе средств антивирусной защиты по требованиям приказа № 21 ФСТЭК России был выбран Антивирус Касперского Endpoint Security 10 для Windows. Он отвечает всем требованиям, описанным в руководящем документе «Антивирусные средства, показатели защищенности и требования по защите антивирусов».

В результате применения технических средств защиты информации схема логики работы АС видоизменилась (рис. 4). После применения ТСЗИ получилось следующее:

- доступ к автоматизированной системе извне фильтруется межсетевым экраном [10];
- коммуникационные шкафы делят на сектора внутреннюю информационную среду, тем самым распределяя потоки данных;
- сформирована серверная комната 9, куда добавлены 8 серверов: сервер приложений, сервер электронной почты, сервер БД клиентов, сервер БД сотрудников, сервер управления, сервер СКУД, прокси-сервер, FTP-сервер;
- подключены дополнительные коммуникаторы для работы с ПДн и для работы с коммерческой информацией;
- добавлен распределительный коммуникатор, для экономии портов МЭ;
- отдельно выделены АРМы для работы с банком и страховыми компаниями;
- всего в АС МЦ 122 АРМ, из них на первом этаже располагается 38, на втором — 62 и на третьем — 22.

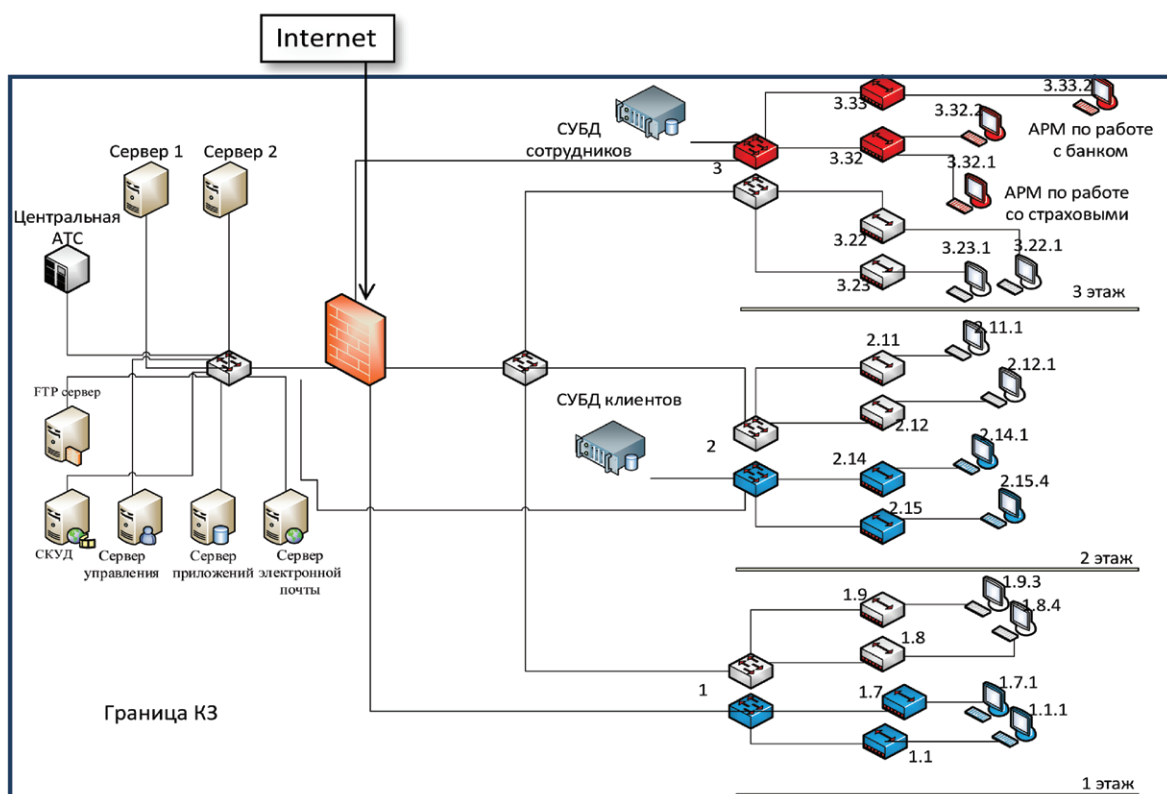


Рис. 4. Видоизмененная схема логики работы АС

Для реализации организационных мер необходимо создать отдел информационной безопасности, в обязанности сотрудников которого согласно должностной инструкции будет входить:

- 1) проведение организационно-технических мероприятий, разработка методических и нормативных документов, проведение плановых обновлений;
- 2) сбор и анализ материалов о возможных каналах утечки информации, в том числе по техническим каналам;
- 3) анализ существующих методов и средств, применяемых для контроля и защиты информации, и разработка предложений по их совершенствованию и повышению эффективности защиты;
- 4) обследование объектов защиты, их аттестация и категорирование;
- 5) определение потребностей в ТСЗИ и мониторинг результатов их внедрения.

Перед вводом ИСПДн МЦ в эксплуатацию нужно решить вопрос технического соответствия требованиям регуляторов РФ. Есть два решения: аттестация соответствия и декларация соответствия [9].

Аттестация ИСПДн относится только к государственным информационным системам персональных данных, что накладывает на операторов обязательства по их защите в соответствии с «Требованиями по защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах», утвержденными Приказом ФСТЭК России № 17 от 11 февраля 2013 г. Так как МЦ — коммерческая организация, то процедура аттестации носит необязательный характер.

Декларирование соответствия — это документальное подтверждение соответствия свойств и характеристик ИСПДн, предъявляемым к ней требованиям, которые установлены законодательством РФ о персональных данных, а также нормативными и методическими документами Роскомнадзора, ФСТЭК России и ФСБ России. Декларирование является одной из форм подтверждения соответствия наряду с аттестацией ИСПДн.

На сегодняшний момент процедура декларирования коммерческих ИСПДн не регламентирована и, так же как и процедура аттестации соответствия, является добровольной процедурой.

Подводя итоги, необходимо отметить, что комплекс мер по защите информационной системы персональных данных носит рекомендательный характер и может быть изменен, в соответствии с предпочтениями руководства.

Предложенный набор организационных и технических мер не является исчерпывающим, а представляет собой минимальный комплекс, который отвечает нормативным требованиям.

Список литературы

1. Конституция РФ. Ст. 24.
2. О ратификации Конвенции Совета Европы о защите физических лиц при автоматизированной обработке персональных данных: федеральный закон Рос. Федерации от 19 декабря 2005 г. № 160-ФЗ.
3. О коммерческой тайне: федеральный закон Рос. Федерации от 29 июля 2004 г. № 98-ФЗ.
4. Об информации, информационных технологиях и о защите информации: федеральный закон Рос. Федерации от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ.
5. О персональных данных: федеральный закон Рос. Федерации от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ.
6. Об утверждении требований к материальным носителям биометрических персональных данных и технологиям хранения таких данных вне ИСПДн: Постановление Правительства Рос. Федерации от 6 июля 2008 г. № 512 (в ред. от 27 декабря 2012 г.).
7. Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных: Постановление Правительства Рос. Федерации от 1 ноября 2012 г. № 1119.
8. Об утверждении Составы и содержания технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных: приказ Федеральной службы технического и экспортного контроля России от 18 февраля 2013 г. № 21.
9. Автоматизация и информационные технологии — от постановки до ввода в эксплуатацию: моногр. / В. В. Аникин, Р. Ш. Аюпов [и др.]. — Одесса: Изд-во «Куприенко Сергей Васильевич», 2013.
10. Нырков А. П. Помехозащищенность как фактор обеспечения стабильной работы сети передачи данных на транспорте / А. П. Нырков, С. С. Соколов, А. С. Белоусов // Sworld: сб. науч. тр. — 2013. — Т. 8, № 1. — С. 5–9.

ГРАФЫ КЛАССОВ И АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОМОРФНОГО ВЛОЖЕНИЯ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

THE CLASS NTNS AND THE ALGORITHM OF ISOMORPHOUS INVESTMENT OF THE ALGORITHMIC NETWORKS

Статья посвящена определению изоморфного вложения алгоритмических сетей и описанию необходимых преобразований для реализации, используя принцип деления вершин на классы. Также в этой статье представлен и подробно описан новый подход и алгоритм распознавания изоморфности алгоритмических сетей и аспекты его применения при поиске в базах моделей.

This article is devoted to the definition of isomorphs investment of the algorithmic networks and description of conversions for implementation, using principle to division vertices into classes. Also in this article presented and described approach end algorithm to identification of isomorphism algorithmic networks in detail and its using for base of algorithmic models.

Ключевые слова: модель, изоморфизм, алгоритмическая сеть, граф.
Key words: model, iomorphisms, algorithmic network, graph.

В ПРЕДЫДУЩЕЙ статье [1, с. 5–9] рассмотрены основные идеи алгоритма распознавания алгоритмических сетей, было введено понятие графа классов вершин алгоритмических сетей.

Введем формальные определения.

Повторим коротко основные определения для алгоритмических сетей. Алгоритмическая сеть определяется как ориентированный нагруженный граф без петель при вершинах $G(V, X)$, в котором дуги обозначают модельные переменные $x_i \in X$, $i = 1, n$, а вершины $v_j \in V$ — функциональные соотношения (операторы), $f_j \in F$, $j = 1, m$, связывающие модельные значения переменных на интервале времени, соответствующем Δt [2].

Структура переменных сети $X = X_{\text{вх}} \cup X_{\text{вых}} \cup X_{\text{вн}}$, где $X_{\text{вх}}$, $X_{\text{вых}}$, $X_{\text{вн}}$ — соответственно входные, выходные и внутренние переменные, причем $X_{\text{вх}} \cap X_{\text{вых}} = \emptyset$, $X_{\text{вх}} \cap X_{\text{вн}} = \emptyset$, $X_{\text{вых}} \cap X_{\text{вн}} = \emptyset$. Учитывая, что все вершины АС наблюдаемы, можно задать $X = X_{\text{вх}} \cup X_{\text{выч}}$, $X_{\text{выч}}$ — вычисляемые переменные АС, $X_{\text{выч}} = X_{\text{вых}} \cup X_{\text{вн}}$, где $X_{\text{выч}}$ — вычисляемые переменные.

Формально алгоритмическая сеть (АС) может быть определена следующим образом:

$$AC ::= \langle P, Q, X, F, P \rightarrow F, Q \rightarrow X \rangle,$$

где P — множество вершин сети; Q — множество дуг сети; X — множество переменных, при этом $X = \cup X_i$; X_i — множество переменных i -й вершины; I — множество всех индексов вершин; F — множество операторов; $P \rightarrow F$ — изоморфное отображение P на F , то есть индекс оператора можно считать индексом вершины; $Q \rightarrow X$ — отображение Q на X .

Оператор $f_i \in F$ описывается как $f_i = \langle X_{\text{ин}}, f^i, X_{\text{аут}} \rangle$, где $X_{\text{ин}}$, $X_{\text{аут}}$ — множество входных и выходных переменных оператора, f^i — символ операции или функции. Для некоммутативных операторов в $X_{\text{ин}}$, $X_{\text{аут}}$ должен быть задан частичный порядок для их элементов. Так, для операции

вычитания в X_{in} необходимо отметить уменьшаемое, порядок следования остальных переменных несуществен. В общем случае f^i может быть именем некоторого программного модуля или другой АС. Операторы могут быть определены над действительными числами, логическими переменными, скалярами, векторами, матрицами, информационными структурами и др. В состав операторов АС включается оператор задержки, который задает исходное состояние моделируемому процессу и описывает переход модели на следующий шаг или определяет задержку появления некоторой переменной в части АС. В АС допускаются контуры только если они включают в себя оператор задержки. АС будем называть канонической, если все операторы задержки определяют рекуррентные соотношения относительно одной и той же величины и с одинаковым шагом ее изменения. Иными словами, в канонической АС все операторы задержки срабатывают одновременно и обеспечивают формирование одного внешнего цикла счета операторов сети. В дальнейшем рассматриваем именно такие АС.

Для АС определены отношения равенства и изоморфности, введены основные операции преобразования [2]. Две АС равны ($AC_1 = AC_2$), если и только если их множества F совпадают ($F_1 = F_2$). АС изоморфны ($AC_1 \sim AC_2$), если и только если между их множествами F можно определить взаимно-однозначное отображение ($F_1 \sim F_2$) при условии, что поставленные в соответствие элементы множеств F_1, F_2 имеют совпадающие символы операций f^i и одинаковые мощности множеств $in(f_i)$ и $out(f_i)$. То есть изоморфные АС отличаются друг от друга только обозначениями переменных. Соответственно изоморфное вложение для АМ будем рассматривать как установление изоморфизма одной АС фрагменту другой АС.

Для поиска фрагментов возможны два случая:

- 1) все переменные моделей относятся к одному тезаурусу, тогда для поиска фрагментов АС достаточно использовать введенные для АС операции пересечения, на которых основаны алгоритмы установления равенства и вложения [2];
- 2) переменные моделей относятся к разным тезаурусам. В данном случае для поиска полной сети может быть использован алгоритм, описанный в [3], но для поиска фрагмента данный алгоритм не подходит. Необходимо разработать новый алгоритм.

Алгоритм установления изоморфного вложения требует установить соответствие между вершинами двух АС и носит переборный характер. Каждая вершина характеризуется своим индексом, множеством переменных связанной с ней X_i , символом оператора, сопоставленного вершине f^i , который у соответствующих друг другу вершин, сравниваемых АС, всегда один и тот же. То есть при установлении соответствия вершин требуется определить соответствие переменных вершин, имеющих одинаковые f^i и одинаковое число входных и выходных переменных.

Используем следующее допущение, разбиение множеств вершин каждой из АС на непересекающиеся классы и подклассы, между элементами которых возможно сопоставление имен переменных, должно не увеличивать число возможных вариантов сопоставления имен переменных сравниваемых сетей. Увеличение числа классов и подклассов увеличивает вероятность снижения числа вариантов. Рассматриваем только связные АС (имеющие одну компоненту связности).

Проведем предварительное преобразование анализируемых АС. Разорвем контуры на входах операторов задержек и выполним для обеих АС их упорядочение по уровням вычислимости. То есть первый уровень будет состоять только из тех вершин, которые могут быть вычислены только на основании входных переменных, второй — из тех вершин, в которых хотя одна входная переменная вычисляется в первом уровне (но не в других уровнях) и т. д., выходы операторов задержки рассматриваем как входные переменные. В результате в каждой АС множества вершин разобьются на классы. Каждая вершина в АС характеризуется собственными $|in(f_i)|$ (мощность множества входных переменных оператора), $|out(f_i)|$ (мощность множества выходных переменных оператора) и f^i (символ операции с индексом), соответствующим ей уровню вычислимости и списком вершин АС, связанных с ней или по входу, или по выходу. Каждая вершина из такого списка также характеризуется собственными $|in(f_i)|$, $|out(f_i)|$ и f^i , соответствующим ей шагом алгоритма. Все вершины, имеющие одинаковые перечисленные характеристики, попа-

дают в один класс. Таким образом, имеем достаточно подробное деление на классы, которое в подавляющем большинстве практических случаев обеспечивает наличие одного или нескольких классов вершин, состоящих из одного элемента, что существенно сокращает число возможных сопоставлений, а в ряде случаев однозначно определяет возможность переобозначения переменных в одной из АС. Реализация алгоритма разбиения на классы требует многократных просмотров множества F , но в силу своей однонаправленности и однозначности определения принадлежности вершины к какому-либо классу будет иметь полиномиальную оценку верхней границы сложности.

АС изоморфно вложимы (обозначим это $\sim \subseteq AC_1$), если и только если между их множеством $F2$ и некоторым подмножеством $F1$ можно определить взаимно-однозначное отображение (изоморфизм), при условии что поставленные в соответствие элементы множества $F2$ и подмножества $F1$ имеют совпадающие символы операций f^i и одинаковые мощности множеств $|\text{in}(f_i)|$, $|\text{out}(f_i)|$. То есть изоморфные АС отличаются друг от друга только обозначениями переменных.

На изоморфность имеет смысл проверять только сети, имеющие одинаковое число классов вершин, и если соответствующие друг другу классы равномощны.

Рассмотрим коротко процесс поиска фрагмента AC_1 , который может быть эквивалентен AC_2 . Прежде всего необходимо, чтобы число уровней вычислимости было в AC_1 было не менее чем в AC_2 , далее, чтобы мощности и число всех выделенных подклассов AC_1 в каждом уровне были не менее чем в AC_2 . После данных проверок начинается собственно работа алгоритма распознавания изоморфного вложения.

Введем понятие графа связей классов вершин АС. Граф связей классов — это ориентированный нагруженный граф, который определяется:

$$ГКАС ::= \langle KP, G, FN, KP \rightarrow FN, F \rightarrow FN \rangle$$

где KP — множество вершин графа, соответствующих выделенным классам; G — множество дуг графа, дуга между классами означает, что хотя бы один элемент одного класса по выходу связан со входом хотя бы одного элемента в другом классе, дуги не нагружены; FN — множество наборов параметров, определяющих классы; $KP \rightarrow FN$ — изоморфное отображение KP на FN ; $F \rightarrow FN$ — сюръективное отображение множества операторов сопоставленным вершинам АС на множество наборов параметров. Правила операций над графами классов принимаем такие же, как над обычными графами. Два ГКАС равны, когда равны все элементы определения ГКАС.

Теперь основная идея рассматриваемого алгоритма. Строим граф связей между классами AC_2 . Аналогично строится граф связей классов для AC_1 . Далее проводим операцию пересечения графов классов. Если получаем результат, что пересечение полностью включает граф классов AC_2 , то возможен дальнейший поиск изоморфного вложения.

Далее выделяется подграф графа классов AC_1 , соответствующий графу классов AC_2 . В нем проверяется, что мощность соответствующих классов не менее мощности соответствующих классов в графе классов AC_2 , далее ищется связный подграф, который проверяется по ранее разработанному алгоритму [2] на изоморфность с AC_2 . Если связного подграфа нет, то изоморфного вложения нет.

Рассмотрим признаки, по которым выделяются классы вершин АС, например:

- тип оператора в вершине;
- уровень вычислимости вершины;
- мощность множества входных переменных вершины;
- мощность множества выходных переменных вершины;
- количество вершин других уровней вычислимости, с которыми она связана для каждой выходной переменной вершины.

Любую вершину АС, имеющую несколько выходов, можно представить в виде фрагмента АС, в котором в каждой вершине есть только один выход [2], поэтому в дальнейшем пока рассма-

триваем только такие АС. Таким образом, класс, к которому принадлежит вершина, будет определяться следующими параметрами:

- тип оператора в вершине;
- уровень вычислимости вершины;
- мощность множества входных переменных вершины;
- количество вершин других уровней вычислимости, с которыми связана выходная переменная вершины.

Данные параметры обеспечивают очень подробную факторизацию множества вершин АС P . В самом деле, по определению АС вершине может быть приписан только один тип оператора, то есть деление по типу операторов задает непересекающиеся классы. Деление внутри класса вершин с одинаковым типом оператора по уровню вычислимости также дает непересекающиеся подклассы. В соответствии с вышеприведенным алгоритмом определения уровней вычислимости вершина может принадлежать только одному уровню. Деление внутри этого подкласса по мощности множества входных переменных также дает непересекающиеся подклассы, по определению у вершины АС не может быть несколько входных множеств. Количество вершин других уровней, связанных с выходом вершины АС, также дает непересекающиеся множества. То есть введенные параметры обеспечивают разделение множества вершин АС на непересекающиеся классы.

Каждая вершина АС имеет свой уникальный номер i . Таким образом, i -я вершина АС в классе будет характеризоваться:

- 1) типом оператора (f^i);
- 2) номером уровня вычислимости (N);
- 3) мощностью множества входных переменных ($|\text{in}(f_i)|$);
- 4) количеством вершин, с которыми вершина связана по своей выходной переменной (k_i).

Рассмотрим свойства ГКАС.

Утверждение 1.

Для каждой АС существует только один ГКАС.

Доказательство.

Предположим, что для какой-либо АС существуют два различных ГКАС. Это означает, что существует хотя бы одна вершина АС с сопоставленным ей оператором, принадлежащая одновременно к разным классам, но тогда из определения ГКАС $F \rightarrow FN$ не будет являться отображением, что исключает подобный вариант.

Следствие утверждения 1.

ГКАС подграфа АС является подграфом ГКАС исходной сети или равен ему.

Доказательство.

Поскольку ГКАС исходной АС и ее подграфа основан на одном и том же множестве FN , то его множество наборов параметров либо будет совпадать с множеством исходной, либо будет подмножеством его. Если множество наборов подграфа АС есть подмножество исходной, то получаем вариант с подграфом ГКАС исходной АС. Так как каждому классу, соответствующему какому-либо набору параметров, соответствует несколько вершин, то возможна ситуация, когда все вершины подграфа АС входят во все классы соответствующим вершинам исходной АС, то есть ГКАС подграфа будет иметь те же вершины, что ГКАС исходной АС. Аналогично и для множества дуг, тогда получаем вариант равного ГКАС, если множество дуг не совпадает, то вариант подграфа.

Можно сформулировать следующие утверждения, которые позволят упростить поиск изоморфного вложения.

1. *Утверждение 2.*

Если АС изоморфны, то их графы классов равны.

Доказательство.

В самом деле, если AC изоморфны, то существует переобозначение переменных одной из AC , при котором она становится равной второй AC . Следовательно, $ГКАС$ у нее будет равный $ГКАС$ второй AC , так как по утверждению 1 AC имеет только один $ГКАС$.

2. Следствие утверждения 2.

Если AC равны, то их графы классов равны.

Данное следствие есть частный случай утверждения 2, когда не требуется переобозначения.

Следующие утверждения относятся уже к изоморфному вложению, поэтому из набора параметров исключаем уровень вычислимости.

3. Утверждение 3.

Если AC изоморфно вложима в другую AC , то ее граф классов подграф графа классов большей AC или равен ему.

Доказательство.

Если AC изоморфно вложима во вторую AC , значит, существует подграф второй AC , изоморфный рассматриваемой. Тогда, проведя переобозначение у вкладываемой, получаем AC , равную подграфу исходной AC , далее используем следствие утверждения 1 и получаем требуемый результат.

4. Следствие утверждения 3.

Если AC есть подграф другой AC , то ее граф классов подграф графа классов большей AC или равен ему.

Данное следствие есть частный случай утверждения 3, когда не требуется переобозначения.

Рассмотрим теперь укрупненно процедуру установления изоморфного вложения, AC_1 исходная, AC_2 вкладываемая.

1. Начало.

2. Построить $ГКАС$ для AC_1 и AC_2 (без учета уровня вычислимости).

3. Выполнить $ГКАС_1 \cap ГКАС_2$.

4. Если $ГКАС_1 \cap ГКАС_2 \neq ГКАС_2$, то конец — изоморфного вложения нет.

5. В AC_2 выбираем самый длинный путь. (Все начала входных дуг AC считаем исходящей из фиктивной вершины I , все концы выходных дуг AC считаем входящими в фиктивную вершину S , длина каждой дуги единица.)

6. Ищем в AC_1 последовательность вершин с типами операторов, совпадающими с вершинами максимального пути в AC_2 , с мощностями множеств входных переменных числом вершин, связанных с выходами не меньшими, чем в пути. Если таких путей нет, то конец — изоморфного вложения нет.

7. Производим переобозначения переменных в вершинах найденного в AC_2 пути (подграфа AC_2) в соответствии вершинами AC_1 .

8. Проверяем связи вершин полученного подграфа AC_2 . Если тип оператора совпадает, число входных переменных и связей по выходу не более соответствующих вершин соответствует аналогичным вершинам в AC_1 , то включаем их в формируемый подграф и производим переобозначения переменных, нет к 11.

9. Все связанные с рассматриваемым подграфом вершины просмотрены, нет к 8.

10. Подграф изоморфен AC_2 ? Да — конец, определено изоморфное вложение, нет к 8.

11. Запоминаем исходную последовательность в AC_1 как запрещенную, к 6.

Данный алгоритм носит обобщенный характер и ссылается на другие алгоритмы. Рассмотрим их укрупненно.

Алгоритм построения $ГКАС$.

1. Сортировка вершин AC по классам, имеющим одинаковый уровень вычислимости, тип оператора, мощность множества входных переменных и число вершин, связанных с выходом вершины. Это множество вершин $ГКАС$.

2. Просмотр пар полученных классов, если в них есть вершины, связанные дугой, то вершины ГКАС связываются дугой.

3. Все пары классов просмотрены — ГКАС построен.

В АС при определении уровней вычислимости разрываются связи по операторам задержки, то есть АС становится бесконтурной, поэтому ГКАС также бесконтурный.

Пересечение ГКАС — это обычная операция пересечения графов. Равенство — это равенство для нагруженного графа. Поиск максимального пути может быть реализован, например, методом редукции индексов.

Рассмотренный алгоритм может быть использован для определения изоморфности АС, только в пункте 4 нужно вставить определение равенства ГКАС и использовать параметр уровня вычислимости.

Данный алгоритм позволяет его использовать для поиска фрагментов в базе моделей независимо от того, к какой предметной области модели принадлежат.

Ключевые слова

Алгоритмическая модель (АМ) — формализованное описание сценария предметного специалиста для моделируемого процесса.

Алгоритмическая сеть (АС) — конечный ориентированный нагруженный граф, вершинам которого сопоставлены операторы, а дугам — переменные, связываемые операторами.

Изоморфизм — сходство двух или более объектов по форме или строению.

Абстрагирование — это мысленное выделение, вычленение некоторых элементов конкретного множества и отвлечение их от прочих элементов данного множества.

Алгоритм — точный набор инструкций, описывающих порядок действий исполнителя для достижения результата решения задачи за конечное время.

Список литературы

1. Плотников С. Н. Распознавание изоморфного вложения алгоритмических сетей / С. Н. Плотников // Вестник ВГУ. Сер.: Системный анализ и информационные технологии. — Воронеж, 2014. — № 2.
2. Иванищев В. В. Введение в теорию алгоритмических сетей / В. В. Иванищев, В. Е. Марлей. — СПб.: СПбГТУ, 2000. — 180 с.
3. Васильченко Д. С. Распознавание изоморфизма алгоритмических сетей при моделировании транспортных процессов / Д. С. Васильченко // Журнал Университета водных коммуникаций. — СПб., 2010. — Вып. 8.

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

Д. С. Тормашев,
канд. техн. наук, старший преподаватель,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет
морского флота имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»;

С. В. Сабуров,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ СРЕДСТВАМИ MATLAB

DYNAMIC SYSTEMS PARAMETRIC ARRANGE BY MEANS PID TUNER IN MATLAB

Статья посвящена параметрической настройке ПИД-регуляторов динамических систем средствами MatLab. Приведен алгоритм настройки регуляторов во временной и частотной областях на базе функции pidtool и рабочего инструмента PID Tuner. Показано, что элементы объектно-ориентированного программирования и операции экспорта (импорта) данных позволяют значительно повысить эффективность синтеза систем. Рассмотрен пример настройки ПИД-регулятора для динамического объекта с транспортным запаздыванием.

The article is devoted to dynamic systems parametric arrange used PID tuner in MatLab. Tuning algorithm for controller in time and frequency spaces with function pidtool and PID Tuner facility is represented. It is shown that plant oriented programming and export (import) operations are powerful for system synthesis. PID tuner example for object with time delay is devoted.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, параметрическая настройка, динамический объект, алгоритм, транспортное запаздывание, аппроксимация Паде, синтез систем управления.

Key words: PID regulator, parametric tune, dynamic object, algorithm, transport delay, Pade approximation, system control synthesis.



ЭФФЕКТИВНОСТЬ и качество функционирования систем управления технологическими процессами на водном транспорте во многом определяется корректностью выбора параметров регуляторов. К наиболее распространенным типам регуляторов относятся ПИД-регуляторы, содержащие в своей структуре пропорциональную, интегральную и дифференциальную составляющие сигналов, которые задаются путем выбора постоянных коэффициентов, соответствующих этим составляющим. Функциональное исполнение ПИД-регуляторов таково, что блоки, генерирующие сигналы, соединены параллельно. Это позволяет оценивать влияние каждой составляющей на динамику системы как отдельно, так и в совокупности, что упрощает процесс настройки регуляторов в производственных условиях. Широкое распространение ПИД-регуляторов в промышленных установках и на транспорте определяется наряду с возможностью упрощенной параметрической настройки пригодностью для решения многих практических задач при низкой стоимости аппаратных средств, а также применением наглядных, глубоко изученных принципов коррекции поведения динамических систем, базирующихся на классической теории систем автоматического регулирования. Вместе с тем, несмотря на достигнутые результаты в области теории конструирования ПИД-регуляторов и накопленный опыт их практического применения, в выборе параметров настройки зачастую продолжают ис-

пользоваться эмпирические методы, без должного теоретического обоснования и применения современных компьютерных технологий.

К наиболее популярным методам настройки ПИД-регуляторов, основанным на специфических алгоритмах, относятся: метод Зиглера–Никольса (Ziegler–Nichols), Кохена–Куна (Cohen–Coon), метод внутреннего модельного управления (со встроенной моделью процесса), Саида–Мади (Saeed and Mahdi) и др. [2, р. 1307–1311]. В большинстве отечественных и зарубежных публикаций, посвященных проблеме настройки систем с ПИД-регуляторами, можно найти практически обоснованные рекомендации, доведенные до инструкций и технологических правил, принятых в различных фирмах, корпорациях и объединениях по выпуску аппаратных средств управления технологическими процессами в промышленности и на транспорте. Так, например, для настройки ПИД-регуляторов частоты вращения электроприводов Данфосс.wnv (Danfoss Power Electronic, <http://www.youtube.com>) в блочном исполнении создан видеоролик с демонстрационным временем, равным 10 мин. Известны технологические решения с автоматической настройкой параметров по адаптивным алгоритмам с использованием методов нечеткой логики, генетических алгоритмов и др.

Вместе с тем, проблема параметрической настройки ПИД-регуляторов продолжает привлекать к себе большое внимание. Причина состоит в возникающих трудностях при управлении нелинейными системами, объектами с транспортным запаздыванием, в случаях появления шумов при измерениях переменных состояния и выхода, а также при неполной информации о динамике технологических процессов в нестационарных условиях эксплуатации. Во многих ситуациях настройка параметров регуляторов выполняется путем визуальной оценки переходных процессов, без комплексных количественных оценок с применением компьютерных технологий и спектрального анализа.

Эффективность и качество оценки параметров настройки регуляторов можно повысить за счет современных средств моделирования и применения специальных инструментариев различных вычислительных сред, ориентированных на решение задач в данной предметной области [1, с. 56–66]. В интегрированной среде MatLab таковым инструментом является ПИД-тюнер, реализованный с помощью функции `pidtool`. На рис. 1 представлена структурная схема системы управления, состоящая из объекта и ПИД-регулятора.

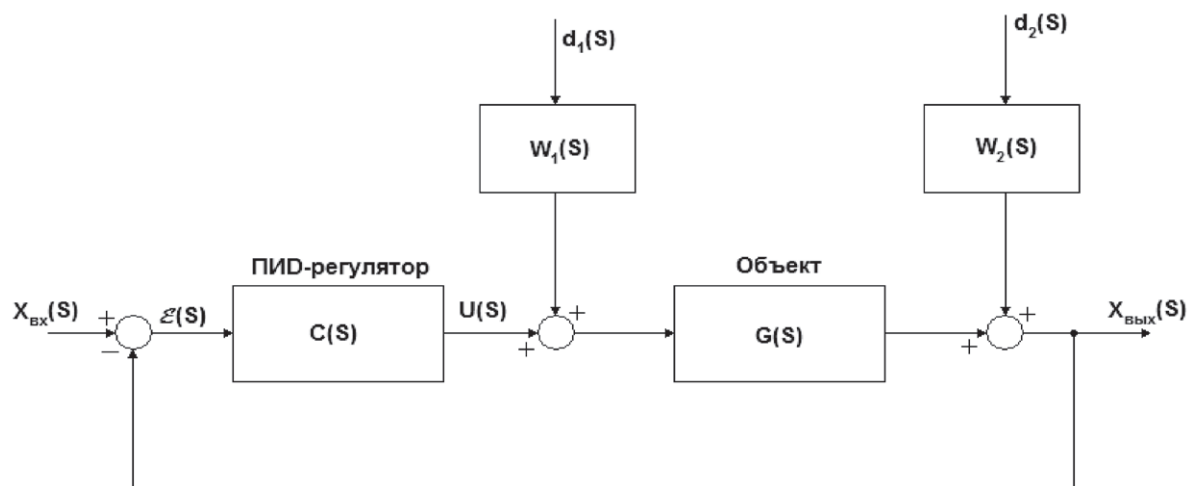


Рис. 1. Структурная схема системы управления с ПИД-регулятором

Показаны сигналы в операторной форме, воздействующие на объект и регулятор. Применение передаточных функций позволяет использовать ПИД-тюнер для работы с неминимально-фазовыми системами и системами с транспортным запаздыванием.

Для анализа качества параметрической настройки системы управления (рис. 1) возможно получение динамических характеристик как замкнутой системы в целом, так и ее блоков во временной и частотной областях. С этой целью введем передаточные функции:

$W(s) = \frac{x_{\text{вых}}}{\varepsilon(s)} = C(s) \cdot G(s)$ — передаточная функция разомкнутой системы:

$F_c(s) = \frac{x_{\text{вых}}(s)}{x_{\text{вх}}(s)} = \frac{W(s)}{1 + W(s)}$ — передаточная функция замкнутой системы с единичной отрицательной обратной связью.

$$F_1(s) = \frac{u(s)}{x_{\text{вх}}(s)} = \frac{C(s)}{1 + W(s)},$$

$$F_2(s) = \frac{x_{\text{вых}}(s)}{d_1(s)} = \frac{W_1(s) \cdot \text{sys}(s)}{1 + W(s)},$$

$$F_3(s) = \frac{x_{\text{вых}}(s)}{d_2(s)} = \frac{W_2(s)}{1 + W(s)},$$

где $F_1(s)$, $F_2(s)$ и $F_3(s)$ — передаточные функции, устанавливающие связь между соответствующими входами и выходами (см. рис. 1).

Математическая модель системы (объекта) согласно синтаксису `pidtool` может представляться в форме передаточной функции (*tf*), модели с заданными нулями и полюсами (*zpk*), модели в пространстве состояний (*ss*) и др. Модель, созданная в графическом интерфейсе пользователя (GUI), может применяться как объект, предназначенный для автоматизации и выполнения структурных преобразований динамических систем. Такая модель значительно упрощает выполнение громоздких расчетов, требуемых для анализа и синтеза регуляторов технологических процессов во временной и частотной областях.

ПИД-регулятор с передаточной функцией $C(s)$ в инструментарии Control Toolbox среды MatLfi используется для настройки систем путем введения сигналов K_p , K_i и K_d с пропорциональным, интегральным и дифференциальным коэффициентами усиления с помощью функции `pid`. Синтаксис функции:

$$C = \text{pid}(K_p, K_i, K_d, T_f).$$

T_f — постоянная времени фильтра первого порядка в дифференциальной составляющей сигнала. Передаточная функция модели ПИД-регулятора может иметь параллельную, либо стандартную структуру. В первом случае

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + \frac{K_d \cdot s}{T_f \cdot s + 1};$$

во втором —

$$C(s) = K_p + \frac{K_p}{T_i \cdot s} + \frac{K_p \cdot T_d \cdot s}{T_f \cdot s + 1}.$$

Настройка параметров ПИД-регулятора в окне PID Tuner производится с помощью двух «потенциометров», движки которых «захватываются» мышью и плавно перемещаются влево или вправо. Верхним «потенциометром» задается время переходного процесса (Response time), а нижним (Transient behavior) — поддерживается баланс между временем переходного процесса и запасом устойчивости, то есть обеспечивается робастность системы с ПИД-регулятором.

Для оценки качества настройки следует открыть окно (Show parameters) и контролировать значения параметров ПИД-регулятора (Controller parameters), а также показатели качества переходного процесса (Performance and robustness). Переходный процесс в системе для каждого положения движков представляется графической зависимостью изменения выходного сигнала в функции времени. Таким образом, параметры регулятора в рабочем инструменте `pidtool` не задаются, а вычисляются автоматически для соответствующих численных значений времени переходного процесса и робастности.

Можно убедиться в том, что с увеличением K_p уменьшается ошибка в установившемся режиме, однако уменьшается также и запас устойчивости по амплитуде и фазе, вследствие чего

в системе могут возникнуть колебания. Введение коэффициента K_i соответствует применению в структуре системы интегрирующего звена, что способствует уменьшению до нуля статической ошибки в установившемся режиме за счёт увеличения коэффициента передачи на низких частотах, при снижении запасов устойчивости по фазе. С увеличением коэффициента K_d возрастает величина дифференцирующего сигнала, что приводит к уменьшению времени переходного процесса и повышению устойчивости. Однако следует помнить, что увеличение коэффициента передачи на высоких частотах может способствовать ухудшению качества управления при воздействии на систему высокочастотных помех и т. п. Поэтому часто при формировании дифференцирующего сигнала с помощью ПИД-регулятора применяется фильтр первого порядка.

В среде MatLab также предусмотрена автоматическая настройка параметров ПИД-регулятора с введением процедуры выбора коэффициентов по эталонной модели, что также способствует упрощению решения задач параметрической оптимизации систем.

Расчет динамической системы с ПИД-регулятором средствами инструмента pidtool выполним на примере простого объекта с транспортным запаздыванием по входу. Передаточная функция объекта:

$$G(s) = e^{-s\tau} \cdot \frac{K}{T \cdot s + 1} \quad (1)$$

где K — постоянный коэффициент, T — постоянная времени, τ — транспортное запаздывание, s — оператор Лапласа. Применительно к смесителю различных сортов топлива выберем следующие параметры передаточной функции объекта [1]:

$$G(s) = e^{-1,075 \cdot s} \cdot \frac{1,54}{5,93 \cdot s + 1}. \quad (2)$$

Для перехода к передаточной функции, не содержащей в явном виде время запаздывания τ , воспользуемся аппроксимацией Паде первого порядка. В результате получим

$$G_p(s) = \frac{-1,54 \cdot s + 2,865}{5,93 \cdot s^2 + 12,03 \cdot s + 1,86}. \quad (3)$$

Предпочтение аппроксимации Паде отдано также потому, что нули числителя аппроксимирующего выражения обеспечивают повышенную точность аппроксимации разрывных функций.

На рис. 2 представлены переходные процессы объекта (системы без регулятора) и ее модели. Видно, что время переходного процесса объекта составляет более 30 с. Задача состоит в синтезе системы со структурой (рис. 1) и ПИД-регулятором с передаточной функцией $C(s)$, время переходного процесса в которой должно составлять 3,22 с при показателе робастности, равном 0,6.

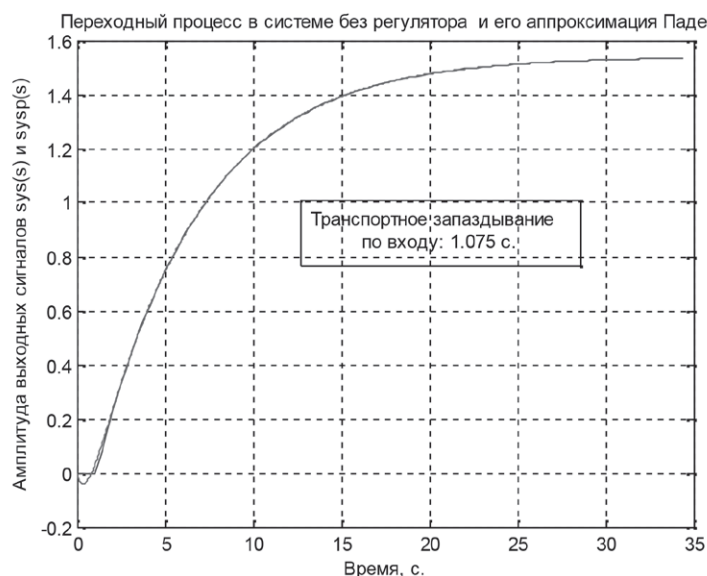


Рис. 2. Переходный процесс объекта с запаздыванием и его модель

Алгоритм настройки в режиме прямых вычислений.

1. Войти в MatLab и в командном окне создать объект с передаточной функцией (1).
2. С помощью функции аппроксимации Паде получить модель (2).
3. Ввести в функцию pidtool объект регулирования и выбрать структуру регулятора с соблюдением синтаксиса:

`pidtool(Gp, 'pid').`

4. Войти в основное окно инструмента PID Tuner.
5. Выбрать режим настройки системы во временной области.

Установить в верхней линейке:

Design mode: Time domain.

Form: Parallel.

Type: PID.

В других окнах:

Plot: Step.

Response: Reference tracking.

6. Следуя по стрелке «Show parameters», открыть окна для оценки численных значений параметров настройки регулятора и переходного процесса в системе с обратной связью (рис. 1).

1. Настройка параметров.

Путем плавного перемещения движков виртуальных потенциометров Response time Transient behavior выполнить настройку регулятора, обеспечивающего требуемые показатели переходного процесса (п. 6 алгоритма), с оценкой по графику.

Установить в окнах потенциометров соответственно значения 3,22 seconds и 0,6. Убедиться, что этому режиму соответствуют следующие значения рабочих параметров системы:

Время нахождения реакции в активной области (RiseTime): 1,82 с.

Время переходного процесса (Setting): 8 с.

Перерегулирование: 3,06 %

Максимальная амплитуда (Peak): 1,03.

Запас устойчивости по амплитуде: 12 дБ @ 2,61 рад/с.

Запас устойчивости по фазе: 60 град @ 0,621 рад/с.

Параметры ПИД-регулятора:

$K_p = 2,454$; $K_i = 0,33984$; $K_d = 0,30815$; $T_f = 0,0000$.

Если требуется увеличить число контролируемых параметров, то необходимо использовать функции stepinfo, либо isiminfo. Кроме того, для получения параметров сигналов в любой точке переходной характеристики можно воздействовать на эту точку левой кнопкой мыши. На рис. 3 изображена переходная характеристика спроектированной системы (рис. 1), которая имеет приведенные выше рабочие параметры. Показано, что точка, выделенная на кривой, имеет координаты (3,21, 0,999).

Настройка параметров ПИД-регулятора в частотной области выполняется аналогично. С этой целью в окнах PID Tuner необходимо выбрать следующие режимы:

Design mode: Frequency domain.

Plot: Bode.

При этом изменятся наименования линеек виртуальных потенциометров.

Установить в окне верхнего потенциометра величину Bandwidth: 0,621 рад/с; в окне нижнего потенциометра Phase margin: 60°.

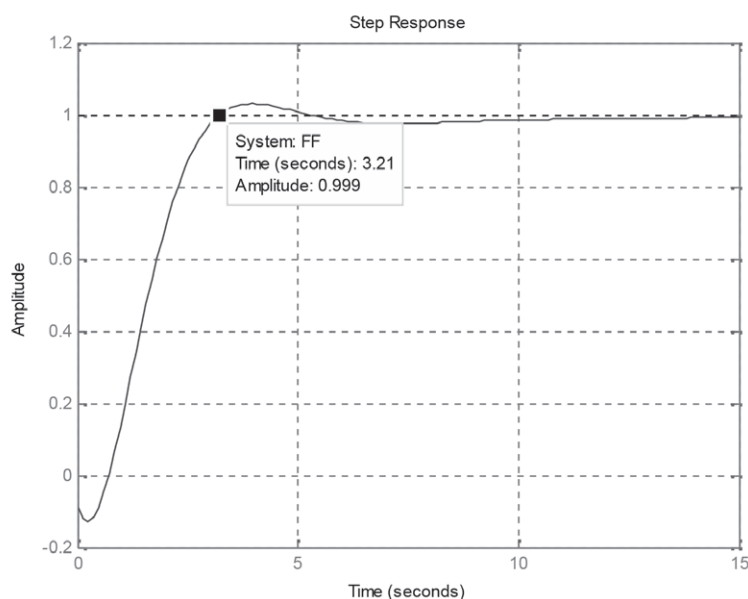


Рис. 3. Переходная характеристика системы с ПИД-регулятором

В результате получим численные значения, полностью совпадающие с выполненными ранее расчетами во временной области. На рис. 4 приведены логарифмическая амплитудная и фазовая характеристики (ЛАХ и ЛФХ) динамической системы (рис. 1). По ЛАХ и ЛФХ нетрудно определить постоянные времени на сопрягающих частотах, а также запасы устойчивости по фазе, отвечающие требованиям робастности.

Следует также отметить, что в основном окне инструмента PID Tuner можно исследовать динамику системы при различных входах и выходах, представленную передаточными функциями $F_1(s)$, $F_2(s)$, $F_3(s)$, а также передаточной функцией системы $W(s) = \frac{x_{\text{вых}}}{\varepsilon(s)} = C(s) \cdot \text{sys}(s)$ без обратной связи. Для анализа влияния параметров настройки регулятора и возмущений на входе и выходе объекта на поведение системы в динамике необходимо в окне Response выбрать режим, соответствующий одной из передаточных функций.

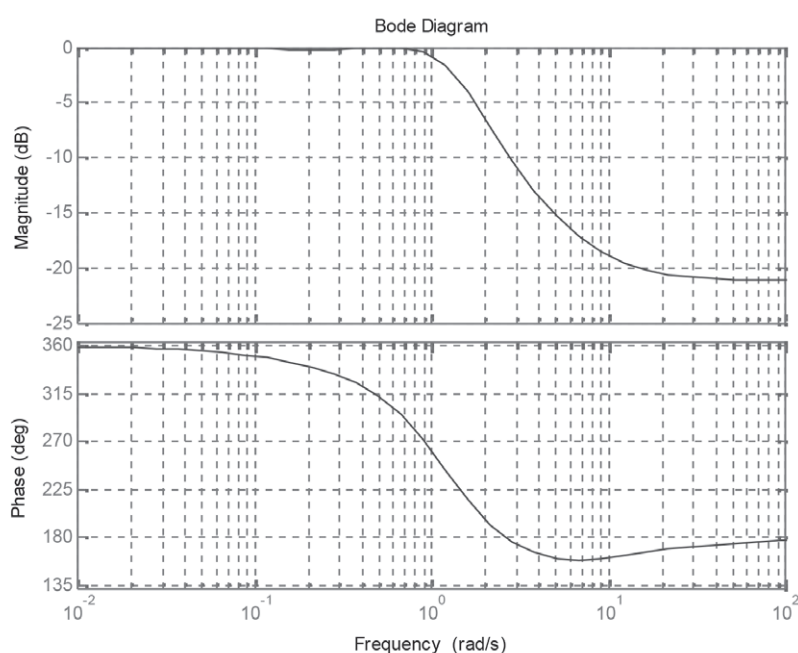


Рис. 4. Логарифмические амплитудная и фазовая характеристики системы с ПИД-регулятором (диаграмма Боде)

Инструмент PID Tuner имеет широкий спектр возможностей, связанных с параметрическим синтезом систем и средств автоматизации. Так, например, на его основе можно выполнять комплексные исследования по оценке поведения системы, находящейся одновременно под воздействием всех входных сигналов и возмущений, определенных передаточными функциями и содержащих как детерминированные, так и стохастические составляющие.

В левой части верхней линейки основного окна инструмента предусмотрены кнопки Import new plant model or baseline controller и Export plant or controller to workspace. Первая служит для ввода новых моделей и их регуляторов, а вторая — для вывода (экспорта) динамики модели и ПИД-регулятора в рабочую область компьютера с последующим доступом к компонентам системы.

Воспользуемся второй кнопкой. В выпадающем окне Export Linear System выберем блоки Export plant model и Export PID controller. С помощью кнопки **ОК** перенесем данные моделей в рабочую область. В результате получим:

Объект: $G =$

$$\frac{-1,54s + 2,865}{5,93s^2 + 12,03s + 1,86}$$

ПИД-регулятор: $C =$

$$K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \cdot s$$

with $K_p = 2,45$, $K_i = 0,34$, $K_d = 0,308$

Continuous-time PID controller in parallel form.

Согласно рис. 1 в режиме прямых вычислений получим передаточную функцию системы с обратной связью по входу:

```
>> Fc=feedback(C*G1)
```

```
Fc =
```

```
-0.4745 s^3 - 2.896 s^2 + 6.508 s + 0.9737
```

```
-----
```

```
5.455 s^3 + 9.136 s^2 + 8.368 s + 0.9737
```

```
Continuous-time transfer function.
```

```
>>
```

Определим переходный процесс и произведем его численные оценки с помощью функции stepinfo(Fc) :

```
>> step(Fc),grid
```

```
stepinfo(Fc)
```

```
ans =
```

```
RiseTime: 1.8243
```

```
SettlingTime: 8.0032
```

```
Overshoot: 3.0555
```

```
Peak: 1.0306
```

```
PeakTime: 3.9468
```

```
>>
```

Видно, что решения идентичны данным моделирования, выполненного с использованием инструмента PID Tuner.

Отметим, что PID Tuner может аналогично использоваться для параметрической настройки дискретных регуляторов и систем. Простота выполнения технологических операций по приведенному алгоритму, полное исключение рутинных преобразований, визуальное сопровождение принимаемых решений с численной оценкой рабочих параметров, экспорт и импорт данных, ясность и реализуемость целей открывают широкие возможности для использования тюнера на

практике. Перспективным представляется его применение для решения класса оптимизационных задач энергосбережения, предиктивного управления и управления по модели следования и др. На качественно новом уровне возможны решения задач группового управления подвижными объектами. Наконец, на базе тюнера возможны построения дискретных динамических моделей экономических и логистических систем, проведение исследований в сферах управления производством и финансовыми операциями на базе методов динамических аналогий с применением фундаментальных положений современной теории идентификации и практической оптимизации.

Список литературы

1. Андрианов Е. Н. Модальный метод параметрического демпфирования динамической системы / Е. Н. Андрианов, В. В. Сахаров, А. Г. Таранин // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2012. — Вып. 4 (16).
2. Rajvanshi S. Performance evaluation of various controllers designed for an industrial first order plus delay process / S. Rajvanshi, P. Juneja // International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. — 2013 (April). — Vol. 2. — Is. 4.
3. Бесекерский В. А. Теория автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. — М.: Наука, 1975. — 768 с.
4. Попов Е. П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления / Е. П. Попов. — М.: Наука, 1989. — 304 с.
5. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. — М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. — 832 с.
6. Филипс Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филипс, Р. Харбор. — М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. — 616 с.
7. Гудвин Г. К. Проектирование систем управления / Г. К. Гудвин, С. Ф. Греббе, М. Э. Сальгадо. — М.: Бином, 2004. — 911 с.
8. Олссон Г. Цифровые системы автоматизации и управления / Г. Олссон, Дж. Пьяни. — СПб., 2001. — 577 с.
9. Лазарев Ю. Ф. MatLab 5.x / Ю. Ф. Лазарев. — Киев: BHV, 2000.
10. Дьяконов В. Simulink4: спец. справ. / В. Дьяконов. — СПб.: Питер, 2002.
11. Медведев В. С. Control system toolbox. MatLab 5 для студентов / В. С. Медведев, В. Г. По темкин. — М.: ДИАЛОГ МИФИ, 1999. — 287 с.

РАЗРАБОТКА МОРСКИХ И ШЕЛЬФОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

УДК 528.475

Ю. Г. Фирсов,
канд. техн. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ EIVA ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПРОМЫШЛЕННОЙ ГИДРОГРАФИИ

EIVA HYDROGRAPHIC SOFTWARE MAIN FEATURES ANALYSIS FOR THE OFFSHORE SURVEY IMPLEMENTATION

Дается анализ современных гидрографических информационных технологий и рассматриваются основные особенности семейства программных продуктов EIVA с точки зрения их эффективности для решения задач, обеспечивающих поддержку создания инфраструктуры морских месторождений углеводородного сырья. Рассматривается возможность использования программного модуля NaviPac для изучения в рамках учебного процесса на кафедре гидрография моря университета.

The brief review of modern hydrographic technologies is followed by EIVA hydrographic software main features analysis for goals and objectives of the Industrial Offshore Surveying. The possibility of the NaviPac software module of implementation for hydrographic training in the State University for marine and inland shipping is discussed.

Ключевые слова: гидрографические информационные технологии, гидрографическое обеспечение морской деятельности, промышленная гидрография, специальная навигация судов, подводные технические средства, подготовка гидрографов.

Key words: modern hydrographic technologies, Industrial Offshore Surveying, survey vessels, Remote Operated Vehicle, hydrographic training.

Введение

Последние десятилетия отмечены бурным развитием геоинформационных и гидроакустических технологий, в том числе технологий съемки рельефа дна. Современная морская деятельность ставит задачи получения рельефа дна с детальностью, сопоставимой с детальностью рельефа суши, и имеющиеся технологии позволяют это обеспечить.

Особую актуальность приобретает гидрографическое программное обеспечение, реализованное в электронных гидрографических информационных системах (ЭГИС), без которых в настоящее время невозможно выполнение любых морских работ. В мире сложился рынок морских технологий, в том числе технологий для гидрографических применений. Определились мировые лидеры по различным направлениям гидрографической деятельности [1].

В соответствии с классификацией Международной Гидрографической организации (МГО) в зависимости от специализации различают следующие основные направления гидрографической деятельности:

- съемки для создания морских навигационных карт в интересах безопасности мореплавания (*Nautical Charting*) или традиционная гидрография;
- съемки для управления прибрежными зонами (*Surveys for Coastal Zone Management*) или инженерная гидрография;
- съемки для эксплуатации природных ресурсов в удаленной морской зоне (*Industrial Offshore Surveying*) или промышленная гидрография.

В настоящее время на мировом рынке гидрографических технологий имеется целый ряд промышленных ЭГИС, среди которых следует выделить: Hupack MAX (фирма “Hupack”) [2, 47–54; 3, с. 349–361], Hydro Pro (фирма “TRIMBLE”), QINSy (фирма “Quality Positioning Services — QPS”) [4, с. 34–39], EIVA (фирма “EIVA”), SIS (фирма “Kongsberg”), PDS-2000 (фирма “RESON”), CARIS HIPS (фирма “CARIS”) и др. Каждая из указанных ЭГИС имеет свои особенности и оптимальным образом поддерживает определенные направления гидрографической деятельности. Наиболее популярной в России является ЭГИС QINSy, направленная на решение главным образом задач промышленной гидрографии и выполнение съемок с многолучевым эхолотом (МЛЭ).

Гидрографические технологии, предназначенные для поддержки комплекса работ, связанных с созданием инфраструктуры морских нефтегазовых месторождений, должны обеспечивать эффективное решение следующих основных задач:

- съемку рельефа дна с помощью МЛЭ в месте установки буровой платформы, а также по трассе ее буксировки к месту установки;
- вывод буровой платформы в заданную позицию с помощью буксиров;
- заводку якорей буровой платформы с помощью буксиров и установку их в проектное положение;
- позиционирование буровой платформы с помощью заведенных якорей и установку в проектные координаты с учетом заданных допусков;
- съемку рельефа дна с помощью МЛЭ по трассе для проектирования прокладки трубопроводов;
- инспекцию проложенных трубопроводов с помощью МЛЭ и телеуправляемых подводных аппаратов, оборудованных МЛЭ.

Для решения указанных, а также и многих других задач промышленной гидрографии в последние годы все чаще начинает использоваться семейство гидрографических программных продуктов фирмы “EIVA”.

Анализ особенностей семейства программных продуктов фирмы “EIVA”

Семейство программных продуктов фирмы “EIVA” объединяет пять основных модулей.

Программные модули NaviPac, NaviScan работают в реальном масштабе времени (навигация и сбор данных однолучевых эхолотов и МЛЭ). Модули NaviEdit, NaviModel, NaviPlot, предназначенные для пост-обработки, создания цифровых моделей рельефа и окончательных продуктов съемки (аналоговые и цифровые планшеты и экспорт данных в ГИС-форматы), функционируют в режиме разделения времени.

Программные продукты фирмы “EIVA” разработаны с использованием сетевой идеологии «клиент-сервер». Блок-схема взаимодействия моделей и потоки данных представлены на рис. 1.

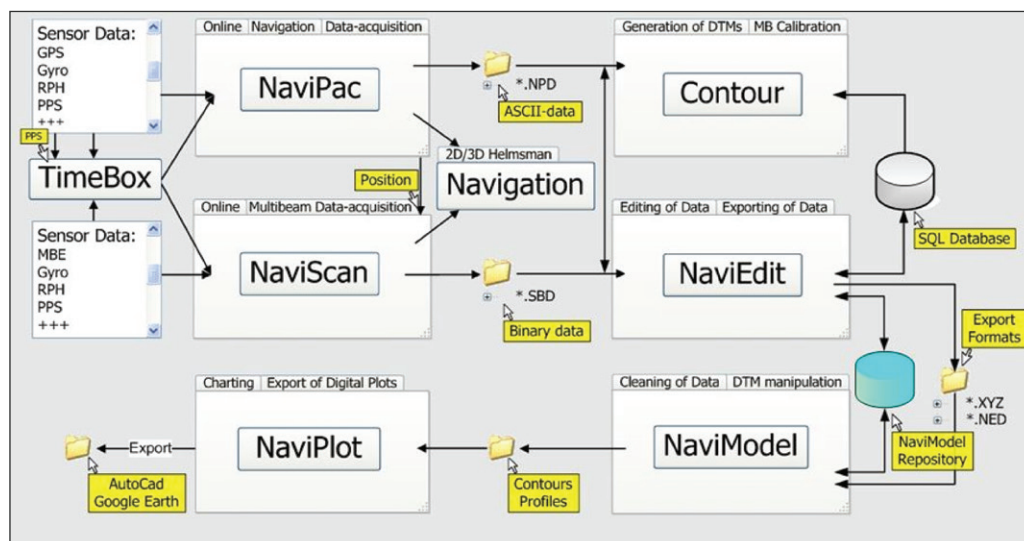


Рис. 1. Блок-схема взаимодействия моделей и потоки данных EIVA (фирма “EIVA”)

Минимальный состав аппаратных средств для обеспечения работы моделей NaviPac, NaviScan, NaviEdit на исследовательском судне представлен на рис. 2.

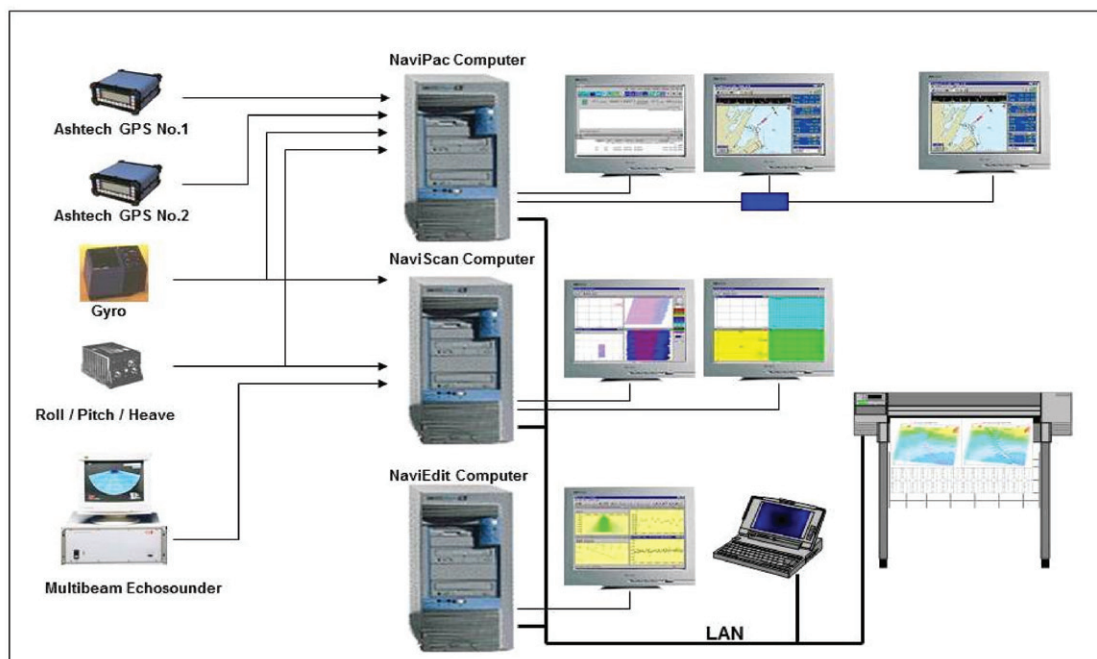


Рис. 2. Аппаратные средства для работы моделей NaviPac, NaviScan, NaviEdit на судне (фирма EIVA)

Программный модуль NaviPac для обеспечения исследовательской интегрированной навигации (Integrated Navigation) судов и подводных технических средств (ПТС) создан в целях обеспечения следующих видов морской деятельности:

- гидрографических и океанографических исследований;
- геофизических исследований, включая сейсмические работы 2D;
- морских научно-исследовательских работ;
- съемки в портах и гаванях;
- поддержки работ по установке конструкций в морских условиях;
- прокладки и мониторинга морских трубопроводов;
- управления баржами, буксирами и специальными судами;
- установки буровых платформ в удаленных морских зонах;
- слежения и поддержки эксплуатации ПТС — телеуправляемых и автономных подводных аппаратов;
- дноуглубительных работ.

Основное направление применения модуля NaviPac — это промышленная гидрография (Offshore survey), гидрографическая поддержка создания инфраструктуры морских месторождений углеводородного сырья.

Программный модуль NaviPac обеспечивает возможность подключения большого количества внешних датчиков, установленных как на самом надводном судне (объекте), так и на ПТС.

Информация от сопряженных датчиков отображается в специальных окнах в алфавитно-цифровом виде, а также в графическом окне Helmsman Display, изображенном на рис. 3.

Имеется возможность отображения информации в трехмерном виде (3D) с использованием специального программного модуля 3D Display. В окне программного модуля 3D Display в реальном масштабе времени могут отображаться «объекты» (суда, буровые платформы, ПТС), а также загруженные цифровые модели рельефа, которые были получены ранее либо созданы в процессе выполнения съемки с МЛЭ. Окно модуля 3D Display показано на рис. 4

В этом окне возможно также отобразить и другие объекты съемки, например трубопроводы, проложенные на морском дне, и установленные над дном маяки-ответчики навигационной гидроакустической системы с длинной базой (ГАНС ДБ).

Окно модуля 3D Display в комплексе с 2D графическим окном Helmsman Display создает весьма реалистичное представление о выполняемой работе и решаемой задаче навигационно-гидрографического обеспечения конкретного вида морской деятельности.

Одной из важных функций программного модуля NaviPac является мониторинг целостности системы датчиков и программного обеспечения реального времени. Для этого осуществляется непрерывный контроль за состоянием работы всех подключенных датчиков как на надводных объектах (судах), так и на ПТС. Мониторинг целостности включает систему контроля качества позиционирования на основе сравнения данных от нескольких GNSS-приемников, а также расчет точности определения позиции на основе стандартного отклонения координат.

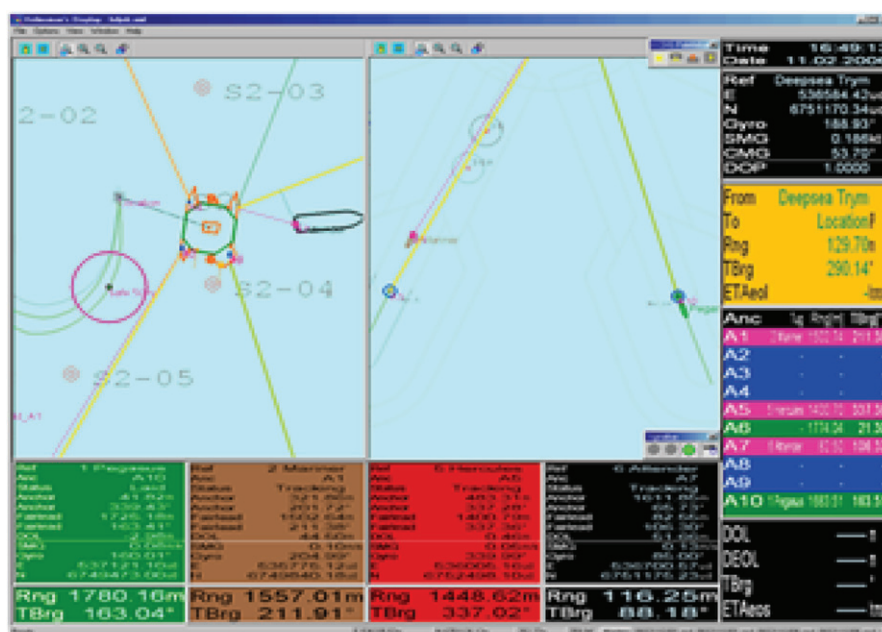


Рис. 3. Графическое окно Helmsman Display (фирма “EIVA”)

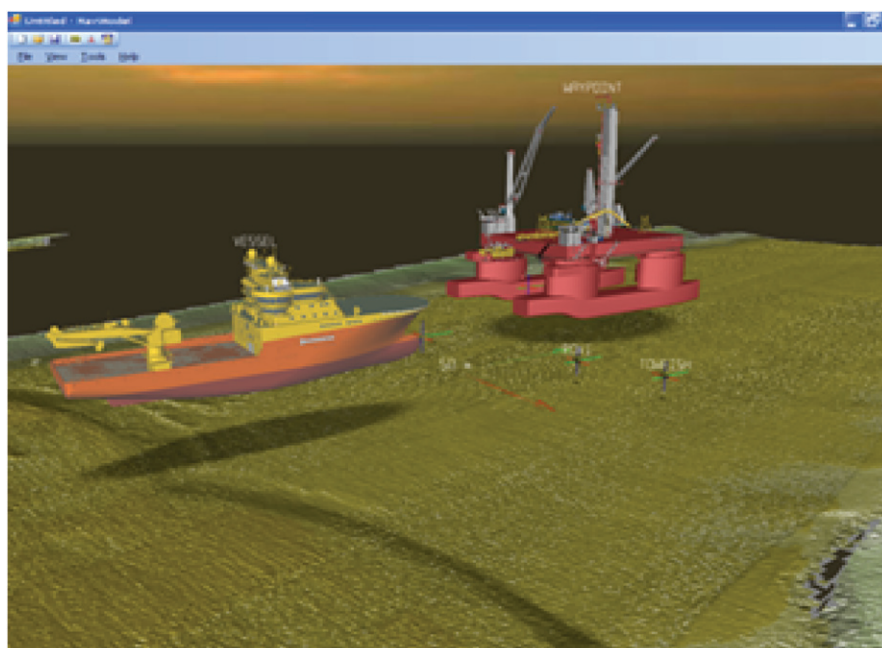


Рис. 4. Окно программного модуля 3D Display (фирма “EIVA”)

В составе модуля NaviPac имеется изощренная система тревог и предупреждений, которую пользователь может самостоятельно настраивать под конкретную решаемую задачу навигационно-гидрографического обеспечения.

Другой важной функцией модуля NaviPac является регистрация данных в текстовый файл формата *.prp (возможен выбор одного из трех вариантов этого формата).

В графическом окне Helmsman Display могут отображаться картографические подложки в виде растровых и векторных карт (изображений) форматов: *.tif, *.dxf, *.dwg, *.dis.

Программный модуль NaviScan может функционировать только в комплексе с модулем NaviScan.

Программный модуль NaviScan предназначен для обеспечения контроля целостности системы МЛЭ и регистрации данных (Sonar Data Acquisition). При этом решаются следующие задачи:

- возможность подключения практически всех типов МЛЭ;
- обеспечение использования МЛЭ на судне и ПТС;
- обеспечение получения данных о вертикальном распределении скорости звука в воде (ВРСЗ) в реальном масштабе времени с использованием буксируемого датчика скорости звука;
- обеспечение высокоточной синхронизации времени GNSS-МЛЭ;
- регистрация данных МЛЭ в собственном формате SBD и универсальном формате XTF;
- контроль качества данных МЛЭ в реальном масштабе времени;
- создание цифровой модели рельефа (ЦМР) реального времени.

Контроль целостности системы МЛЭ заключается в автоматическом мониторинге правильности работы сопряженных датчиков (GNSS, MRU, GYRO, SVP), а также самого МЛЭ. Мониторинг правильности работы датчиков осуществляется путем визуального контроля графического представления их информации по времени. Такое изображение позволяет отмечать грубые ошибки (сбои) и контролировать правильность работы датчиков. Мониторинг правильной работы МЛЭ осуществляется путем визуального контроля информации, отображаемой в следующих окнах: 2D и 3D представление ЦМР (DTM), наборы поперечных профилей глубин. Экран модуля NaviScan с набором окон 2D/3D ЦМР реального времени представлен на рис. 5.

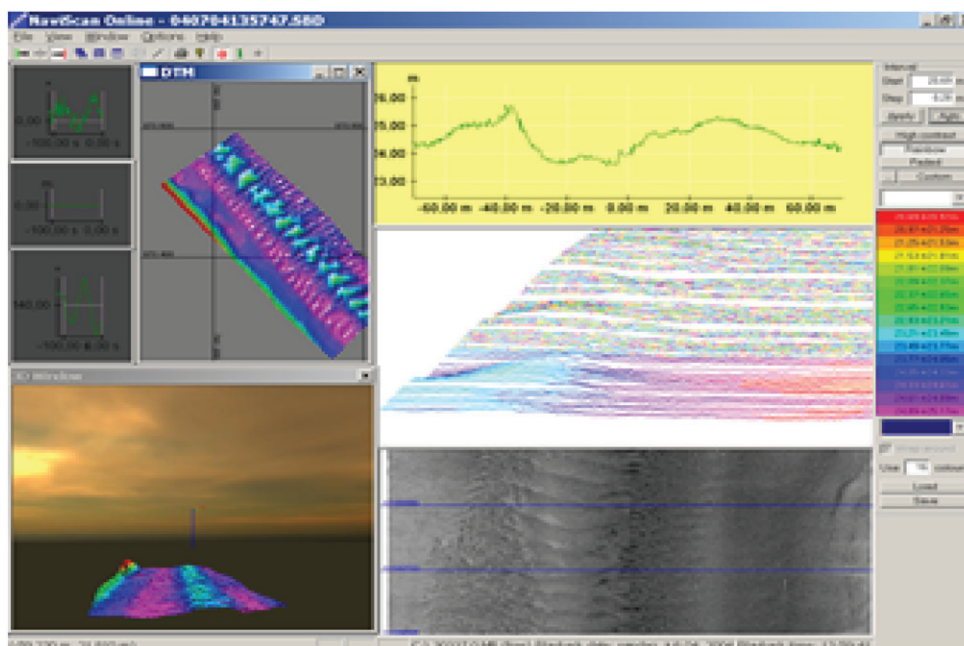


Рис. 5. Экран модуля NaviScan с набором окон (2D/3D ЦМР реального времени) (фирма “EIVA”)

Программный модуль NaviScan обеспечивает одновременное получение батиметрической информации (ЦМР) и сонарного изображения (опция гидролокатора бокового обзора МЛЭ).

Экран модуля NaviScan с окном сонарного изображения МЛЭ представлен на рис. 6.

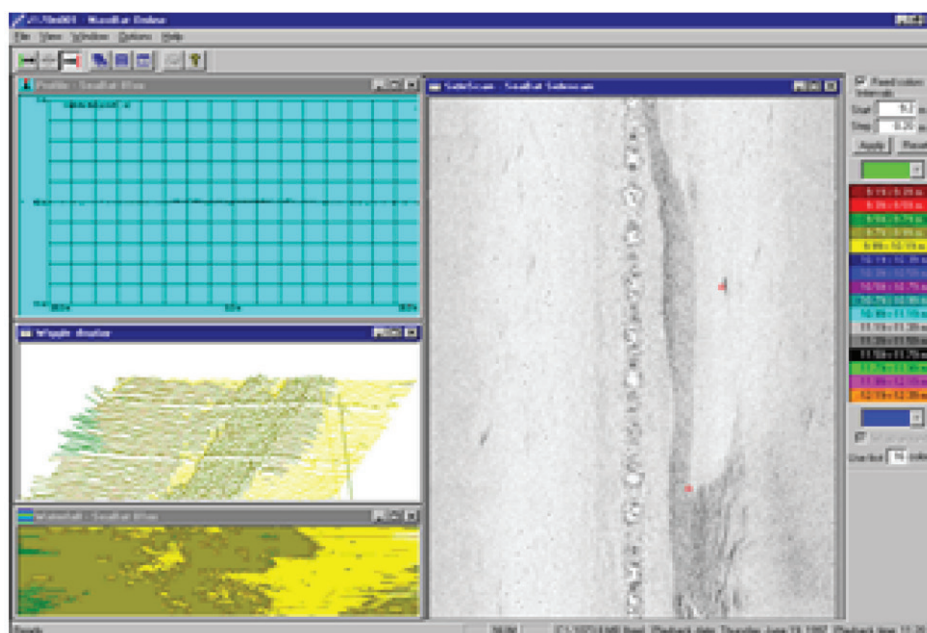


Рис. 6. Экран модуля NaviScan с окном сонарного изображения и поперечными профилями глубин МЛЭ (фирма “EIVA”)

Особенностью программного модуля NaviScan является отсутствие учета ВРСЗ в реальном масштабе времени при формировании цифровой модели рельефа.

Программный модуль NaviScan обеспечивает регистрацию батиметрических и сонарных двоичных данных в файле формата sbd.

Модуль обеспечивает решение следующих задач:

- управление базой данных MicrosoftDB (SQL Server database);
- настраиваемый импорт данных ВРСЗ, гидрологии и поправок уровня из файлов любого формата;
- обеспечение импорта данных МЛЭ различных форматов;
- выполнение графического редактирования данных сопряженных датчиков;
- формирование отчета по контролю качества площадной съемки с МЛЭ;
- мониторинг и инспекцию трубопроводов на дне на основе обработки батиметрической информации;
- обработку данных 2D сейсмики;
- стандартный экспорт данных.

Основная задача модуля NaviEdit заключается в устранении грубых ошибок (сбоев), а также систематических ошибок в зарегистрированных показаниях датчиков МЛЭ и самих данных МЛЭ. Устранение сбойных измерений датчиков МЛЭ может осуществляться вручную с использованием инструментов редактирования, предусмотренных в соответствующих графических окнах.

Исправление глубин за уровень (ввод поправок уровня по данным уровенных постов) возможно в классическом варианте, а также на основе использования технологии RTK-уровней [5]. Для учета рефракции звуковых лучей МЛЭ могут использоваться данные гидрологии (температура, соленость, давление) или ВРСЗ, полученное с помощью измерителя скорости звука. Экран модуля NaviEdit с окнами датчиков, обеспечивающих графическое редактирование, представлен на рис. 7.

Особый интерес представляет инструмент для мониторинга и инспекции трубопроводов на дне на основе обработки батиметрической информации, который выделен в качестве отдельной процедуры. Окно мониторинга и инспекции трубопроводов показано на рис. 8.

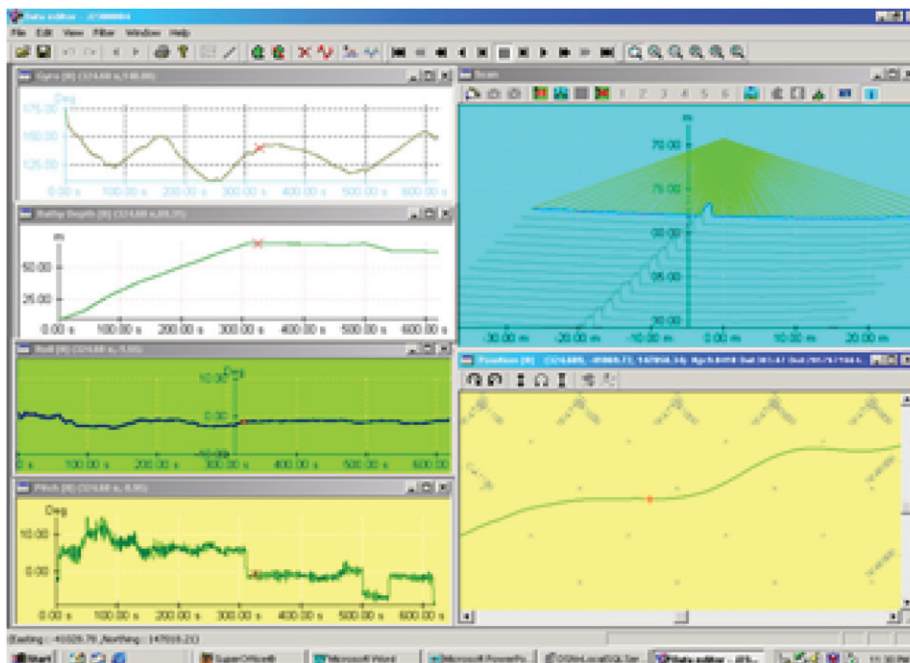


Рис. 7. Экран модуля NaviEdit с графическими окнами датчиков МЛЭ (фирма “EIVA”)

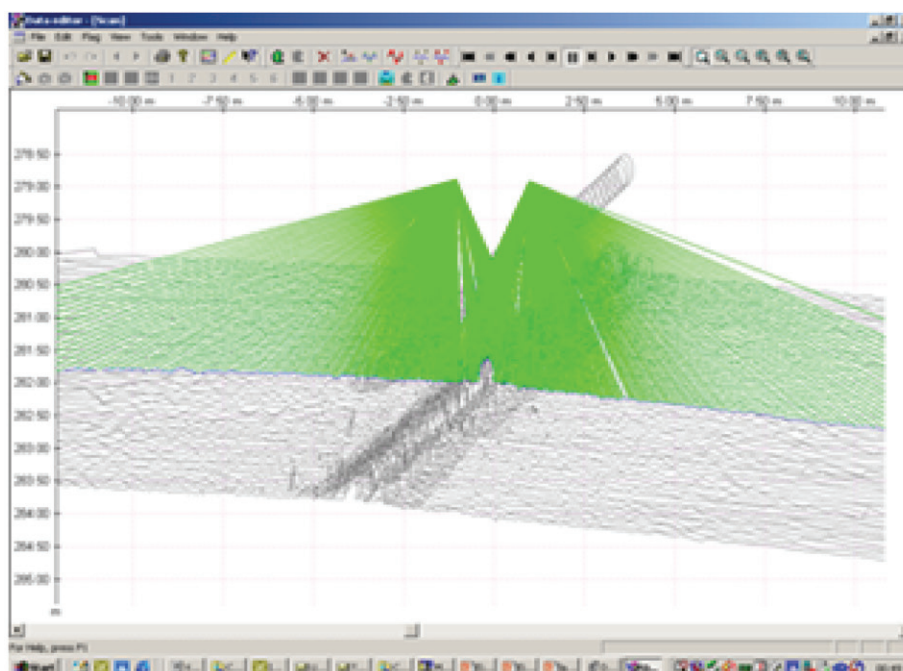


Рис. 8. Окно мониторинга и инспекции трубопроводов (фирма “EIVA”)

Программный модуль NaviEdit допускает ограниченный инструментарий фильтрации данных МЛЭ (устранение сбойных глубин) в полосе обзора, однако данная опция в полной мере реализована в другом программном модуле — NaviModel.

Программный модуль NaviModel предназначен для выполнения двух основных функций:

- автоматической и ручной фильтрации сбойных глубин от МЛЭ;
- создание цифровых моделей поверхности дна по данным от МЛЭ (Digital Terrain Modeling).

Модуль NaviModel решает следующие основные задачи:

- импорт первичной или отредактированной информации батиметрической съемки;

- сокращение массивов глубин без потери детальности создания ЦМР;
- автоматическая и ручная фильтрация сбойных глубин;
- применение оригинальных математических методов моделирования рельефа;
- контроль качества результирующих данных;
- создание мозаики на основе сонарных изображений бокового обзора;
- интегрированный инструмент объемного для инспектирования подводного трубопровода.

Отличительной особенностью модуля NaviModel является отсутствие ограничений на размеры цифровых моделей поверхности дна. Ограничения диктуются только аппаратными возможностями компьютера.

При выполнении автоматической фильтрации для устранения сбойных глубин используется оригинальная технология, разработанная в Университете Архус (Дания) [8]. Технология была коммерциализирована фирмой “EIVA” и получила наименование S-CAN cleaning. Особенностью данной технологии, в отличие от более известной технологии CUBE [6; 7], используемой в большинстве современных ЭГИС, является первоначальное формирование ЦМР на основе триангуляционной нерегулярной сети (TIN-модель) с последующим переходом к формированию ЦМР на основе регулярной модели рельефа (грида) с обоснованным размером ячейки. Окно ЦМР на основе технологии S-CAN cleaning показано на рис. 9. Особого внимания заслуживает специальный интегрированный инструмент объемного инспектирования подводного трубопровода, окно которого показано на рис. 10.

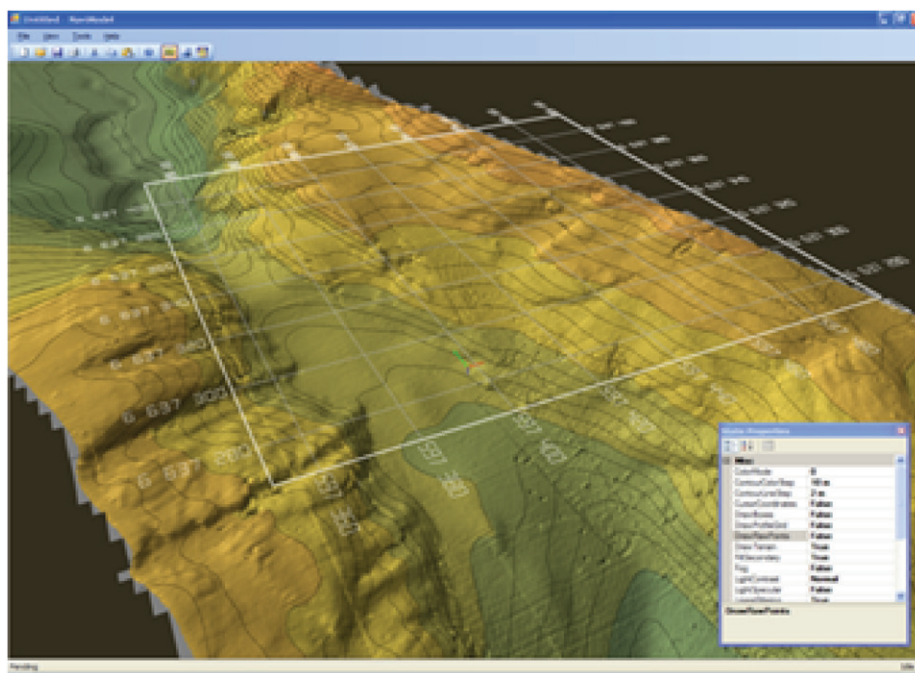


Рис. 9. Окно ЦМР, созданной на основе технологии S-CAN cleaning

Интегрированный инструмент объемного инспектирования подводного трубопровода позволяет получать количественную информацию о состоянии трубы на дне и наличии «провисаний» (free span), которые являются наиболее опасным явлением при эксплуатации.

Отметим, что в модуле NaviModel реализована инновационная программа для калибровки МЛЭ (Patch Test). Особенностью этой программы калибровки является учет взаимной корреляции при расчете поправок установочных углов крена, дифферента, курса и запаздывания приема. Такой подход исключает необходимость итерационного расчета указанных поправок, который приходится применять при использовании программы Patch Test, реализованной в ЭГИС других производителей. Вместе с тем для работы с МЛЭ на борту судна необходимо использовать весь набор моделей: NaviPac, NaviScan, NaviEdit, NaviModel.

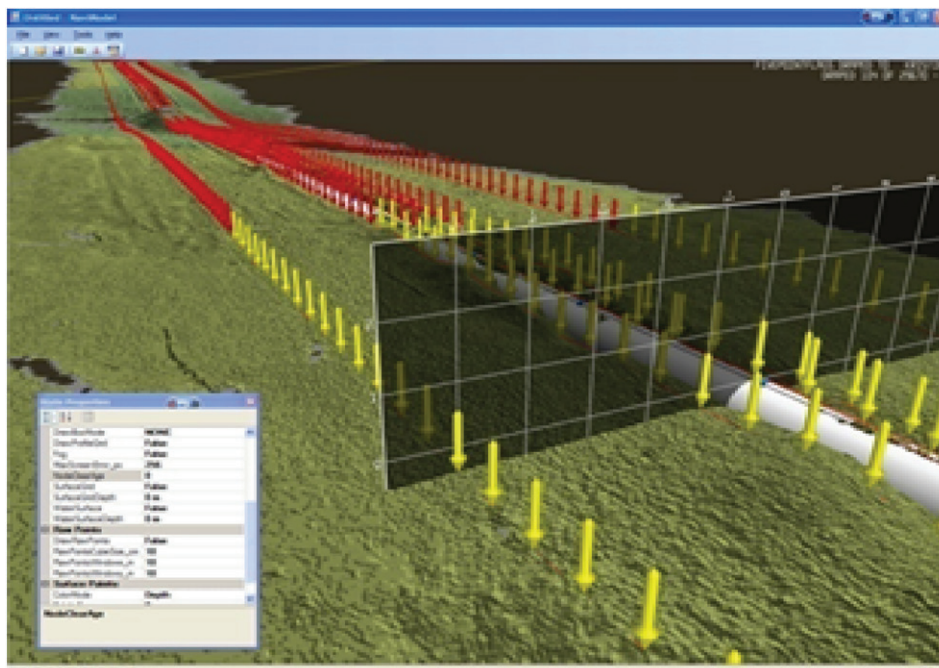


Рис. 10. Окно инструмента инспектирования подводного трубопровода

В результате применения программного модуля *NaviModel* представляется возможным собрать всю модель поверхности дна и представить ее в среде трехмерного изображения. Окно объемного (3D) представления модели поверхности дна с помощью программного модуля *NaviModel* представлено на рис. 11.

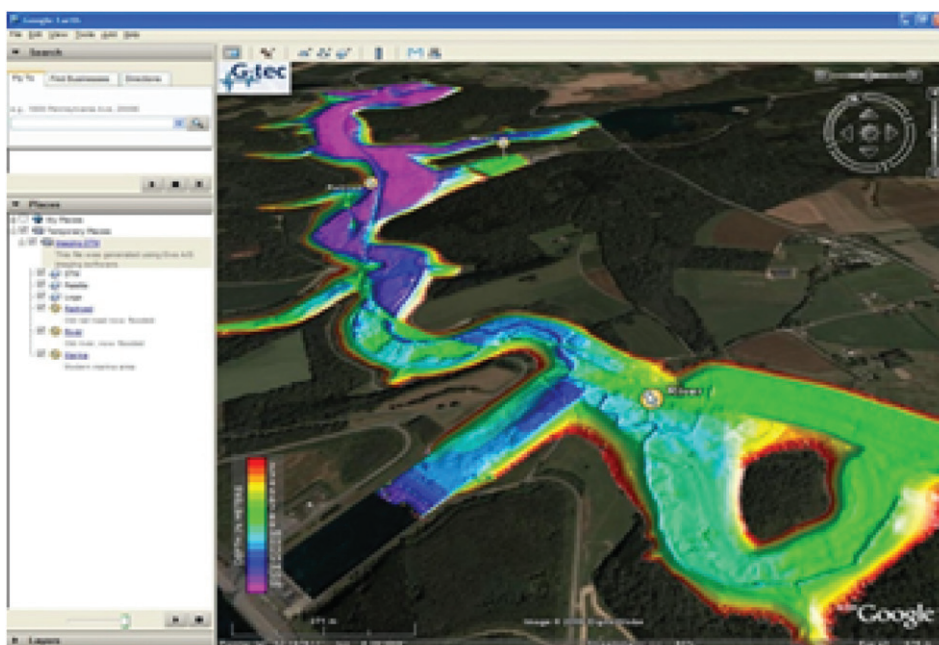


Рис. 11. Окно объемного (3D) представления модели поверхности дна с помощью модуля *NaviModel*

Программный модуль *NaviPlot* предназначен для построения аналоговых и цифровых планшетов, а также для экспорта данных съемки в формат электронной карты.

С помощью программного модуля *NaviPlot* решаются задачи:

- компоновка планшета;
 - формирование легенды съемки, представленной на планшете;
 - прокладка результатов съемки в проекционных координатах XY ;
 - формирование секущих и произвольных профилей;
 - нанесение на планшеты трасс подводных трубопроводов;
 - импорт и экспорт данных в формате AutoCAD;
 - экспорт результатов съемки в формате электронной карты обменного формата S57;
 - распечатка планшета на принтере или плоттере в среде ОС Windows.
- Окно модуля *NaviPlot* представлено на рис. 12



Рис. 12. Окно модуля *NaviPlot* с представлением ЦМР

Основные выводы по результатам анализа возможностей семейства программных продуктов фирмы “EIVA”

1. Гидрографическая технология на основе набора модулей EIVA, построенная на сетевой платформе «клиент-сервер», имеет огромные возможности, но достаточно сложна в освоении.

Преимуществом является хорошая документация, в которой детально описаны все основные модули. Вся документация выложена на сайте фирмы “EIVA” и доступна в сети Интернет.

2. Основой обучения использованию набора модулей EIVA является освоение модуля *NaviPac*, который объединяет две главные процедуры: *NaviConfiguration* и *NaviPac-online*.

С помощью процедуры *NaviConfiguration* осуществляются все настройки съемки, включая назначение геодезических параметров (выбор эллипсоида и картографической проекции), определение параметров объектов (суда, ПТС), настройки для автоматического сбора данных от оборудования, установленного на «объектах». Процедура включает также геодезический калькулятор и программу расчета для геодезического азимута по наблюдениям Солнца.

3. Удобной особенностью модуля *NaviPac* является возможность использования встроенных имитаторов всех типов оборудования, что позволяет выполнить всю настройку съемки в имитационном режиме. Система *NaviPac-online* также имеет встроенный имитатор, позволяющий задавать вручную координаты исходной точки, величины курса и скорости для отображения в окне *Helmsman Display*. Использование модуля *NaviPac* в имитационном режиме не требует наличия на компьютере ключа программной защиты. При этом учащиеся могут зарегистрироваться на фирме “EIVA” и получить разрешение на использование модуля *NaviPac* в учебных целях.

4. Сильной стороной гидрографического программного обеспечения EIVA является ее очевидная направленность для решения задач промышленной гидрографии - гидрографическая поддержка всего комплекса работ для создания инфраструктуры морских месторождений углеводородного сырья.

5. Использование сетевой идеологии «клиент-сервер» имеет преимущество, которое особенно заметно проявляется при использовании на судне, имеющем локальную сеть. При этом основное окно модуля реального времени — графическое окно Helmsman Display (см. рис. 3), может быть транслировано по сети в любое помещение, оборудованное локальной сетью, и отображено на периферийных компьютерах без необходимости использования дополнительного ключа программной защиты. Такая возможность позволяет отображать окно Helmsman Display не только в лабораториях судна, но даже в каютах сотрудников.

6. В общем составе работ по гидрографической поддержке мониторинга инфраструктур морских месторождений следует выделить специальные инструменты инспектирования (мониторинга) подводного трубопровода, которые позволяют получать информацию о состоянии трубы на дне в виде акустического и видеоизображений. Работы по мониторингу подводных трубопроводов приобретают в настоящее время все возрастающее значение. Для удовлетворения высоких требований, предъявляемых фирмами к такого рода программному обеспечению, компания “EIVA” осуществила разработку уникального комплекта моделей NaviSuite Nardoa. При этом используется стандартный набор программных модулей EIVA, но предусматривается, что МЛЭ и «трекер» установлены на телеуправляемом подводном аппарате, который также оборудован видеокамерами. Предусматривается интеграция акустической и видеоинформации в модуле NaviPac + NaviScan, а также пост-обработка батиметрических данных в модуле NaviEdit. Окончательное представление результатов в 3-мерном виде с обеспечением интеграции изображения модели рельефа дна, трубопровода и его видеоизображения осуществляется в программном модуле NaviModel (рис. 13). Данное технологическое решение для мониторинга подводного трубопровода является уникальным.

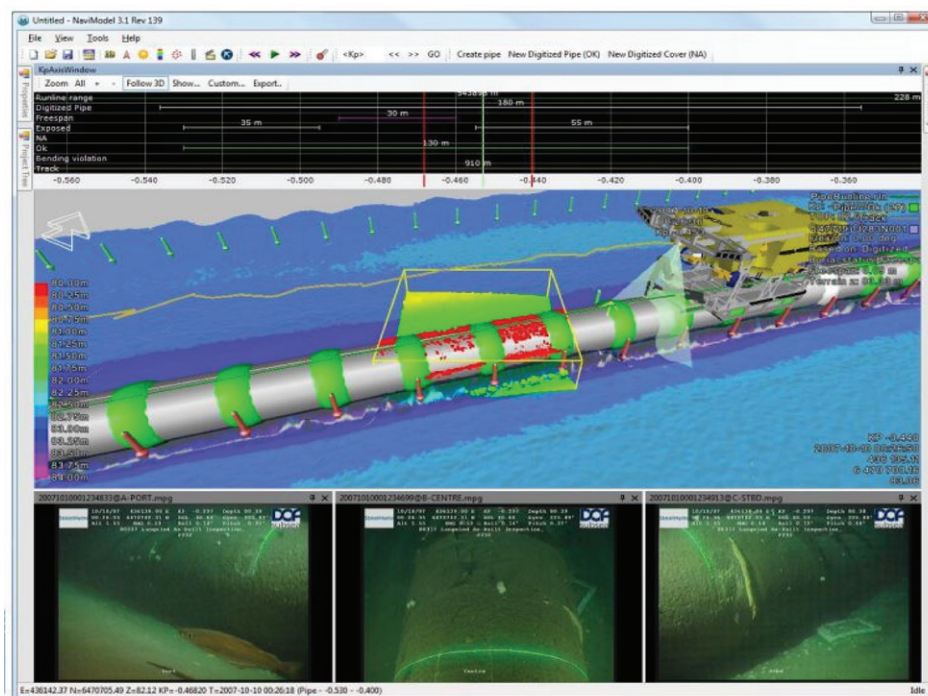


Рис. 13. Результат представления 3D модели рельефа, положения трубопровода и его видеоизображения в модуле NaviModel

7. Ближайшим конкурентом гидрографического программного обеспечения EIVA является ЭГИС QINSy (Quality Integrated Navigation System)/Fledermause голландской фирмы “QPS”. Тех-

нологические возможности QINSy/Fledermause в части батиметрии и сонарного изображения от МЛЭ не уступают программному обеспечению EIVA. Однако при решении задач промышленной гидрографии, особенно мониторинге подводных трубопроводов, программное обеспечение EIVA имеет определенные преимущества.

8. Гидрографическое программное обеспечение EIVA является целесообразным выбором для крупной компании, осуществляющей добычу нефти и/или газа на шельфе, имеющей в своем составе гидрографическое подразделение, эксплуатирующее геофизическое судно с локальной сетью, и телеуправляемый подводный аппарат с большим набором оборудования, включая МЛЭ, «треккер» и набор специализированных датчиков.

Головной морской вуз Минтранса РФ — Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова (ГУМРФ), при подготовке гидрографов на арктическом факультете уже использует в учебном процессе ЭГИС Hurack MAX и QINSy [2; 4].

Основные усилия по внедрению программных модулей EIVA в учебный процесс ГУМРФ будут направлены на создание в 2014–2015 гг. учебного курса по модулю NaviPac.

Новые гидрографические технологии позволяют использовать значительно меньший состав персонала, при этом требования к подготовке гидрографов значительно повышаются. Применение новых гидрографических технологий позволяет не только выполнять съемки в сжатые сроки и меньшим составом исполнителей, но и радикально сократить время пост-обработки и представления конечных результатов.

Список литературы

1. *Фирсов Ю. Г.* Современные технологии морских геодезических работ при нефтегазодобыче на шельфе / Ю. Г. Фирсов, В. Н. Баландин, И. В. Меньшиков // Геодезия и картография. — 2010. — Вып. 6.
2. *Фирсов Ю. Г.* Современные гидрографические технологии и практическая подготовка инженеров-гидрографов в Государственной морской академии / Ю. Г. Фирсов // Эксплуатация морского транспорта / под ред. Емельянова. — М.: Наука, 2003.
3. *Изаак И. Э.* Обследование навигационных опасностей многолучевой эхолотационной системой с помощью программного обеспечения HYPACK MAX / И. Э. Изаак, Ю. В. Смагин // Современное состояние и проблемы навигации и океанографии: тр. конф. — СПб.: ГНИНГИ, 2007.
4. *Фирсов Ю. Г.* Контроль качества трехмерного позиционирования в электронной гидрографии / Ю. Г. Фирсов // Эксплуатация морского транспорта: ежекварт. сб. ст. ГМА. — СПб.: ГМА, 2009. — Вып. 3 (57).
5. *Фирсов Ю. Г.* Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров: учеб. пособие / Ю. Г. Фирсов; ГМА имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: Изд-во «Нестор-ИСТОРИЯ», 2010. — 348 с.
6. *Calder B.* CUBE user's manual: Technical report / B. Calder, D. Wells; Center for Coastal and Ocean Mapping and NOAA, UNH Joint Hydrographic Center, University of New Hampshire. — Jan. 2007. — Version 1.13.
7. *Calder B. R.* Automatic processing of high-rate, high-density multibeam echosounder data / B. R. Calder, L. A. Mayer // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. — June 2003. — № 4 (6).
8. *www.scalgo.com* — сайт датской фирмы “Scalgo”.

В. А. Доровской,
д-р техн. наук, профессор,
Керченский государственный морской
технологический университет;

С. Г. Черный,
канд. техн. наук, доцент,
Керченский государственный морской
технологический университет

НЕЧЕТКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В УСЛОВИЯХ РИСКА

FUZZY METHODS AND MODELS OF INTELLIGENT UNDERWATER MINING SYSTEMS FOR CONDITIONS OF RISK

В работе рассмотрены нечеткие методы и модели принятия решений интеллектуальными системами подводной добычи полезных ископаемых в условиях риска (неопределенности). Методы принятия решений в условиях неопределенности являются узкоспециализированными, ориентированными на отдельные виды неопределенностей: стохастическую, нечеткую или интервальную. Корректные методы их взаимной трансформации или учета их различных композиций мало разработаны.

Considered the fuzzy methods and models of decision-making intelligent systems underwater mining in conditions of risk (uncertainty). Methods of decision making under uncertainty is a specialized, focused on certain types of uncertainty: stochastic, fuzzy, or interval. Correct methods of their mutual transformation and taking into account their different compositions developed not enough.

Ключевые слова: нечеткие методы, принятие решений, риск, критерий, альтернатива.
Key words: fuzzy techniques, decision-making, risk of criteria, alternative.

Введение и анализ существующих исследований. Интеллектуальное месторождение всегда начинается с построения его геологической и технологической модели. Без знания особенностей пласта, представления о том, как должна быть организована добыча, невозможно создать систему управления. Не случайно некоторые эксперты полагают [1], что интеллектуальные технологии лучше всего подходят для месторождений, находящихся на поздней стадии разработки, так как они максимально изучены.

Прогноз добычи и повышение коэффициента извлечения нефти, оптимизацию операционных и капитальных затрат в концепции интеллектуального месторождения (Smart Field) можно оценить благодаря созданию интегрированной модели месторождения, ее адаптации к реальным условиям и расчету оптимальных вариантов разработки нефтегазового актива. Интегрированная модель объединяет модели пласта и наземной инфраструктуры и позволяет делать выбор наилучшего варианта развития месторождения или оптимизации производства, выявить избыточную инфраструктуру, ненужное бурение, причины отказов оборудования, потери по добыче углеводородов из-за «узких мест системы сбора» и в целом повысить экономическую эффективность принимаемых решений по управлению нефтегазовым активом. При этом диспетчер сталкивается с проблемами нечетких моделей и методов принятия решений в условиях риска (неопределенности). На рис. 1 схематично представлена интеллектуальная система добычи углеводородов.

Существует большое количество моделей принятия решений в условиях стохастической неопределенности, которые ориентированы на учет как объективных особенностей ситуации принятия решений, таких как размерность задачи, степень и форма неопределенности представления

исходной информации и т. д., так и субъективных предпочтений ЛПР, вынужденного тем или иным способом возмещать недостающую объективную информацию. Заметим, что с момента опубликования основоположником теории нечетких множеств и логики Л. А. Заде в 1965 г. статьи “Fuzzy Sets” [2] термин “fuzzy” (англ. — нечеткий, размытый) стал ключевым словом практически во всех областях науки. Работа Л. Заде [3] заложила основы моделирования интеллектуальной деятельности человека и явилась начальным толчком к развитию новой математической теории. Теория нечетких множеств и нечеткой логики согласно основной идее Л. Заде в течение почти 40 лет достаточно широко используется в качестве инструментария для моделирования и обработки нечеткой, лингвистической или так называемой качественной информации, для моделирования нечеткости мышления и рассуждений человека, его способности использовать приближенные оценки для описания сложных, плохо (слабо) формализуемых процессов принятия решений в различных областях знаний.

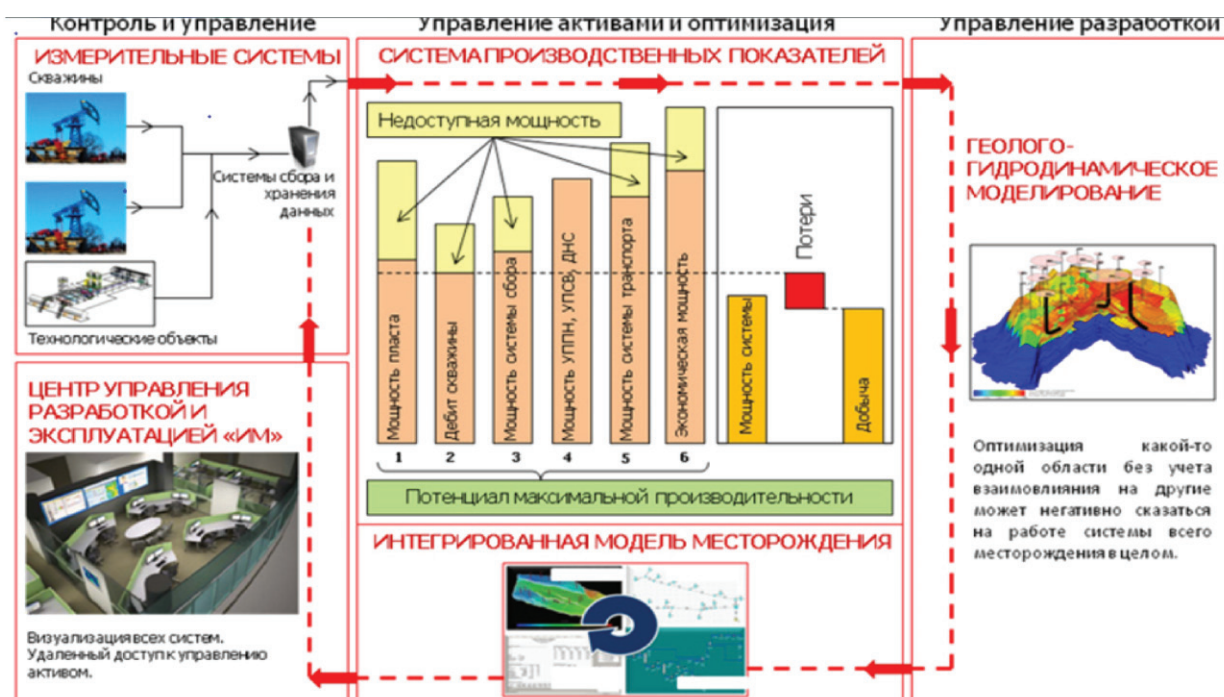


Рис. 1. Интегрированная модель получает в реальном времени параметры эксплуатационных объектов, обрабатывает и выдает варианты управленческих решений, направленных на снижение разницы между плановой и фактической добычей нефти (иллюстрация А. Власова [1])

Фундаментальной работой, в которой предложены методы моделирования неопределенности в процессе принятия решений при помощи теории нечетких множеств и логики, послужила статья Р. Е. Беллмана и Л. Заде [4, р. 338–353]. В работе рассматривается «процесс принятия решения, в котором цели и/или ограничения имеют нечеткую природу». Следует также остановиться на основных вопросах теории рассуждений, предложенной Л. Заде. Судя из его высказываний, «обычные методы представления знаний, основанные на исчислении предикатов и других близких методах, не очень хорошо подходят для представления “знаний здравого смысла”, поскольку предикаты в предложениях, описывающих такие повседневные знания, чаще всего не имеют четких денотатов». Затем проблемы представления смысла обсуждаются в контексте «композиции гибких ограничений» совместно с правилами модификации, композиции, квантификации.

Постановка задачи. Применение теории нечетких множеств к решению различных задач принятия решений при нечеткой информации способствовало созданию и развитию новых методов решения задач математического программирования, в которых содержатся некоторые нечеткие,

недостовверные факторы в целевой функции или в ограничениях. Такой класс задач назван задачами нечеткого математического программирования.

Однако, несмотря на вышеприведенные различия, можно сформулировать обобщенную постановку задачи принятия решений в условиях стохастической неопределенности, известной как проблема принятия решений в условиях риска [5, с. 172–215].

Решение задачи. Будем полагать, что множество состояний внешней среды S задано явно, а стохастическая неопределенность проявляется в случайной реализации состояний $s \in S$, которые не зависят от выбора альтернативы $x \in X$. Стохастическая неопределенность описывается плотностью распределения вероятности $p(s)$.

Для наглядности, но без потери общности, в дальнейшем будем полагать, что множества X и S являются счетными, то есть $X = \{x_i\}, i = \overline{1, n}; S = \{s_j\}, j = \overline{1, m}$. Тогда при выборе конкретного решения $x_i \in X$ и случайной реализации одного из возможных состояний внешней среды $s_j \in S$ эффективность решения $E(x, s)$ характеризуется двумя частными критериями: оценкой ожидаемого эффекта $f(x_i, s_j)$ и вероятностью его реализации $p(s_j)$, то есть

$$E(x_i) = \Phi[f(x_i, s_j), p(s_j)]. \quad (1)$$

Комбинаторное множество значений указанных частных критериев образует множество возможных решений, которое наглядно может быть представлено в виде табл. 1, известной как матрица платежей. Цель задачи принятия решения состоит в максимизации эффекта:

$$x_1^0 = \arg \max_{x_i \in X, p(s_j)} \Phi_1[f(x_i, s_j), p(s_j)] \quad (2)$$

Таблица 1

Множество возможных решений

Решения \ Случайные ситуации	$p(s_1)$	$p(s_2)$	...	$p(s_m)$
x_1	$f(x_1, s_1)$	$f(x_1, s_2)$	...	$f(x_1, s_m)$
x_2	$f(x_2, s_1)$	$f(x_2, s_2)$	...	$f(x_2, s_m)$
...	...	...	...	...
x_n	$f(x_n, s_1)$	$f(x_n, s_2)$	...	$f(x_n, s_m)$

В качестве альтернативной оценки эффективности принимаемого решения можно использовать так называемый риск $r(x_i, s_j)$, который характеризует упущенный эффект. Риск представляет собой разность между максимально возможным потенциальным эффектом, который можно было бы получить в условиях полной определенности о состоянии внешней среды, и действительным эффектом:

$$r(x_i, s_j) = \max_i f(x_i, s_j) - f(x_i, s_j). \quad (3)$$

В этом случае цель задачи принятия решений состоит в минимизации риска, то есть

$$x_2^0 = \arg \min_{x_i \in X, p(s_j)} \Phi_2[r(x_i, s_j), p(s_j)]. \quad (4)$$

Независимо от вида оценки (2) или (4) для конструктивного решения задачи принятия решения необходимо сформулировать обобщенный критерий выбора, учитывающий два вышеуказанных частных критерия. Данная субъективная процедура реализуется лицом, принимающим решение (ЛПР). В качестве примера рассмотрим модель ПР, разработанную в пакет Simulink (рис. 2).

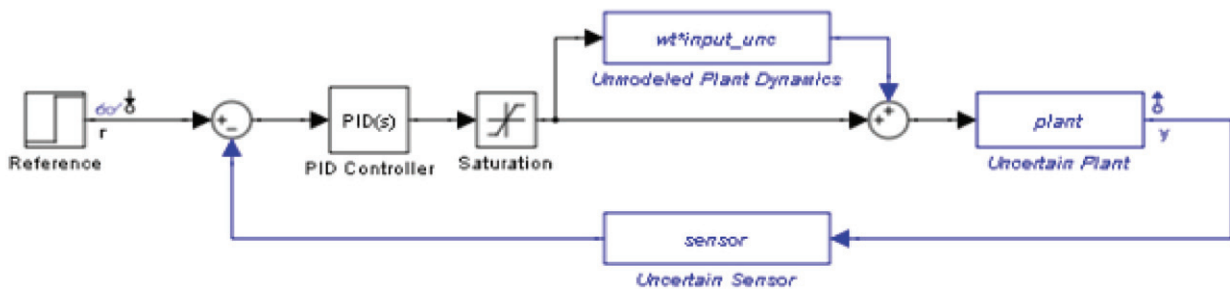


Рис. 2. Модель ПР готова к проведению нечеткой линеаризации

Дальнейшая процедура сводится к имитационному моделированию в пакете Simulink с различными параметрами моделирования. Оценку полученных результатов осуществляли по таким критериям.

Критерий максимального математического ожидания (Байеса–Лапласа). Критерий ориентирован на максимизацию математического ожидания эффекта или минимизацию математического ожидания риска и соответственно имеет для дискретного случая вид:

$$x_1^0 = \arg \max_{x_i \in X} \sum_{j=1}^m f(x_i, s_j) \cdot p(s_j); \quad (5)$$

$$x_2^0 = \arg \min_{x_i \in X} \sum_{j=1}^m r(x_i, s_j) \cdot p(s_j). \quad (6)$$

В случае если множество S непрерывно, формулы (5) и (6) примут, соответственно, вид

$$x_1^0 = \arg \max_{x_i \in X} \int_{s \in S} f(x_i, s_j) \cdot p(s_j) ds; \quad (7)$$

$$x_2^0 = \arg \min_{x_i \in X} \int_{s \in S} r(x_i, s_j) \cdot p(s_j) ds. \quad (8)$$

Следует подчеркнуть, что в силу особенности математического ожидания, которое является средним значением многократно повторяющейся случайной величины, решения x_1^0 и x_2^0 являются эффективными в среднем по множеству многократного применения в однородных стохастических условиях и не пригодны для решений, которые принимаются и используются один раз. В этом случае эффект или риск могут принять любое значение из интервала [4]:

$$[M(E) \pm 3\sigma(E)] \text{ или } [M(r) \pm 3\sigma(r)], \quad (9)$$

где $\sigma = \sqrt{D}$.

Требование многократной реализации принятого решения позволяет несколько смягчить критерий минимальной дисперсии.

Критерий минимальной дисперсии ориентирован на выбор такого решения из допустимого множества X , которое минимизирует величину интервалов и, следовательно, снижает риск получения невысокого выигрыша при реализации конкретного единичного решения за счет его отклонения от математического ожидания. Оптимальными решениями по этому критерию принимаются решения

$$x^0 = \arg \min_{x_i \in X} \int_{s \in S} [f(x, s) - M(x)]^2 \cdot p(s) ds; \quad (10)$$

$$x^0 = \arg \min_{x_i \in X} \sum_{j=1}^m [f(x_i, s_j) - M(x_i)]^2 \cdot p(s_j). \quad (11)$$

соответственно для непрерывного и дискретного случаев.

Критерий компромисса между математическим ожиданием и дисперсией. Это адаптивный критерий, который позволяет пользователю реализовать решение, представляющее компромисс между ожиданием благоприятного состояния внешней среды — оптимизмом и боязнью получить большие потери — риском за счет неблагоприятного состояния S_j — пессимизма. Критерий имеет вид

$$x^0 = \arg \max [(1-k)M(x) - kD], \quad (12)$$

где $0 \leq k \leq 1$.

При $k = 0$ реализуется критерий максимума математического ожидания (3), а при $k = 1$ — критерий минимума дисперсии (11). Во всех других случаях реализуется компромиссное решение.

Критерий предельного уровня ориентирован на максимизацию вероятности получения некоторого эффекта f^* , лежащего в интервале

$$\min_{x \in X, s \in S} f(x, s) \leq f^* \leq \max_{x \in X, s \in S} f(x, s), \quad (13)$$

то есть выбор альтернативы по критерию

$$x^0 = \arg \max_{x \in X} P[f(x, s) \geq f^*], \quad (14)$$

при этом значение f^* определяется эвристически пользователем.

Критерий наиболее вероятного исхода обеспечивает выбор такого решения $x \in X$, которое обеспечивает максимальный ожидаемый эффект при наиболее вероятном состоянии внешней среды s^* :

$$s^* = \arg \max_j p(s_j). \quad (15)$$

Выбор решения осуществляется по правилу

$$x^0 = \arg \max_{x_i \in X} f(x_i, s^*). \quad (16)$$

Данный критерий нецелесообразно применять, если внешняя среда может принимать много состояний с небольшими вероятностями, а также если несколько состояний имеют равные или близкие вероятности реализации.

Критерий недостаточного основания Лапласа. По определению, ЛПР не располагает никакой априорной информацией, позволяющей считать, что вероятность (возможность) реализации одного из состояний природы s_j , $j = \overline{1, m}$ больше, чем другие. Поэтому в качестве рабочей принимается гипотеза о равенстве вероятностей реализации всех состояний s_j , $j = \overline{1, m}$:

$$p(s_j) = \frac{1}{m}. \quad (17)$$

В рамках данной гипотезы критерий максимума математического ожидания эффекта или минимума риска имеет представление:

$$x_1^0 = \arg \max_{x \in X} \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m f(x, s_j); \quad (18)$$

$$x_2^0 = \arg \min_{x \in X} \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m f(x, s_j). \quad (19)$$

Максиминный критерий Вальда — критерий является наиболее осторожным, поскольку он основывается на выборе наилучшей из наихудших возможностей, и поэтому его иногда называют критерием крайнего пессимизма:

$$x^0 = \arg \max_{x_i \in X} \min_{1 \leq j \leq m} f(x_i, s_j). \quad (20)$$

Правило выбора решения в соответствии с критерием Вальда можно интерпретировать следующим образом. Матрица выигрышей дополняется столбцом, каждый элемент которого представляет собой минимальное значение выигрыша для соответствующей стратегии ЛПР:

$$W_i(x_i) = \min_{1 \leq j \leq m} f(x_i, s_j). \quad (21)$$

Оптимальной по данному критерию считается стратегия ЛПР, при которой выбор минимального значения выигрыша максимален:

$$x^0 = \arg \max_{1 \leq i \leq n} W_i(x_i). \quad (22)$$

В результате чего выбранная таким образом стратегия полностью исключает риск, что означает — ЛПР не может получить худший результат, чем тот, на который он ориентируется (результат ему гарантирован). Данное свойство позволяет считать критерий Вальда одним из фундаментальных. Отметим, что выбор решения

$$x^0 = \arg \max_{1 \leq i \leq n} \max_{1 \leq j \leq m} r(x_i, s_j) \quad (23)$$

дает крайне оптимистичное решение.

Критерий минимаксного риска Сэвиджа. В основе оценки полезности альтернатив по критерию Сэвиджа лежит введенное выше понятие риска. Данный критерий рекомендуется в условиях неопределенности, когда следует выбирать стратегию, при которой величина риска принимает наименьшее значение в самой неблагоприятной ситуации (когда риск максимален):

$$x^0 = \arg \min_{1 \leq i \leq n} \max_{1 \leq j \leq m} r(x_i, s_j). \quad (24)$$

Критерий Сэвиджа — критерий крайнего пессимизма (худшим считается не минимальный выигрыш, а максимальная потеря выигрыша (упущенный эффект) по сравнению с тем, чего можно было бы достичь в данных условиях).

Для определения оптимальной стратегии по критерию Сэвиджа на основе платежной матрицы рассчитывается матрица рисков. Матрица рисков дополняется столбцом, содержащим максимальные значения риска по каждой из стратегий ЛПР:

$$R_i(x_i) = \max_{1 \leq j \leq m} r(x_i, s_j). \quad (25)$$

Оптимальной по данному критерию считается та стратегия, в которой значение R_i минимально:

$$x^0 = \arg \min_{1 \leq i \leq n} R_i(x_i). \quad (26)$$

Ситуация, в которой оправдано применение критерия Сэвиджа, аналогична ситуации критерия Вальда, однако наиболее существенным в данном случае является учет степени воздействия риска на величину выигрыша.

Критерий пессимизма–оптимизма Гурвица. В практике принятия решений ЛПР руководствуется не только критериями, связанными с крайним пессимизмом или учетом максимального риска. Стараясь занять наиболее взвешенную позицию, ЛПР может ввести оценочный коэффициент, называемый коэффициентом пессимизма α , который выбирается в интервале $[0, 1]$ и отражает промежуточную ситуацию между точками зрения крайнего оптимизма и крайнего пессимизма. Данный коэффициент определяется на основе оценки сложившейся обстановки и личного опыта принятия решений в схожих ситуациях. Критерий Гурвица выражается соотношением

$$x^0 = \arg \max_{1 \leq i \leq n} \left[\alpha \cdot \min_{1 \leq j \leq m} f(x_i, s_j) + (1 - \alpha) \cdot \max_{1 \leq j \leq m} f(x_i, s_j) \right]. \quad (27)$$

При определении оптимальной стратегии по критерию Гурвица матрица выигрышей дополняется столбцом, элементы которого рассчитываются по формуле

$$H_i(x_i) = \alpha \cdot \min_{1 \leq j \leq m} f(x_i, s_j) + (1 - \alpha) \cdot \max_{1 \leq j \leq m} f(x_i, s_j). \quad (28)$$

Оптимальной по данному критерию считается стратегия, в которой значение $H_i(x_i)$ максимально:

$$x^0 = \arg \max_{1 \leq i \leq n} H_i(x_i). \quad (29)$$

При $\alpha = 1$ критерий Гурвица превращается в критерий Вальда. При $\alpha = 0$ он превращается в критерий «оптимиста», делающего ставку на то, что «выпадет» наилучший случай.

Критерий Ходжа–Лемана. Этот критерий применяется в ситуации, когда ЛПР располагает сведениями о вероятностях состояний внешней среды, хотя и не имеет к ним полного доверия. Он является комбинацией критерия Вальда и критерия максимального математического ожидания. При определении оптимальной стратегии по этому критерию вводится параметр достоверности информации о распределении вероятностей состояний окружающей среды, значение которого находится в интервале $[0, 1]$. Если степень достоверности велика, то доминирует критерий максимального математического ожидания, в противном случае — критерий Вальда. Выражение для критерия Ходжа–Лемана имеет вид:

$$x^0 = \arg \max_{1 \leq i \leq n} \left[u \cdot \sum_{j=1}^m f(x_i, s_j) \cdot p(s_j) + (1-u) \cdot \min_{1 \leq j \leq m} f(x_i, s_j) \right]. \quad (30)$$

Матрица выигрышей дополняется столбцом, коэффициенты которого определяются по формуле

$$L_i(x_i) = u \cdot \sum_{j=1}^m f(x_i, s_j) \cdot p(s_j) + (1-u) \cdot \min_{1 \leq j \leq m} f(x_i, s_j), \quad (31)$$

где u — параметр достоверности информации о вероятностях состояний окружающей среды.

Оптимальной по данному критерию считается та стратегия, в которой значение L_i максимально:

$$x^0 = \arg \max_{1 \leq i \leq n} L_i(x_i). \quad (32)$$

Общие рекомендации по выбору того или иного критерия дать затруднительно. Однако отметим следующее: если в отдельных ситуациях недопустим даже минимальный риск, то следует применять критерий Вальда; если определенный риск вполне приемлем, то можно воспользоваться критерием Сэвиджа. Можно рекомендовать одновременно применять поочередно различные критерии. После этого среди нескольких вариантов, отобранных таким образом в качестве оптимальных, приходится волевым решением выделять некоторое окончательное решение (рис. 3).

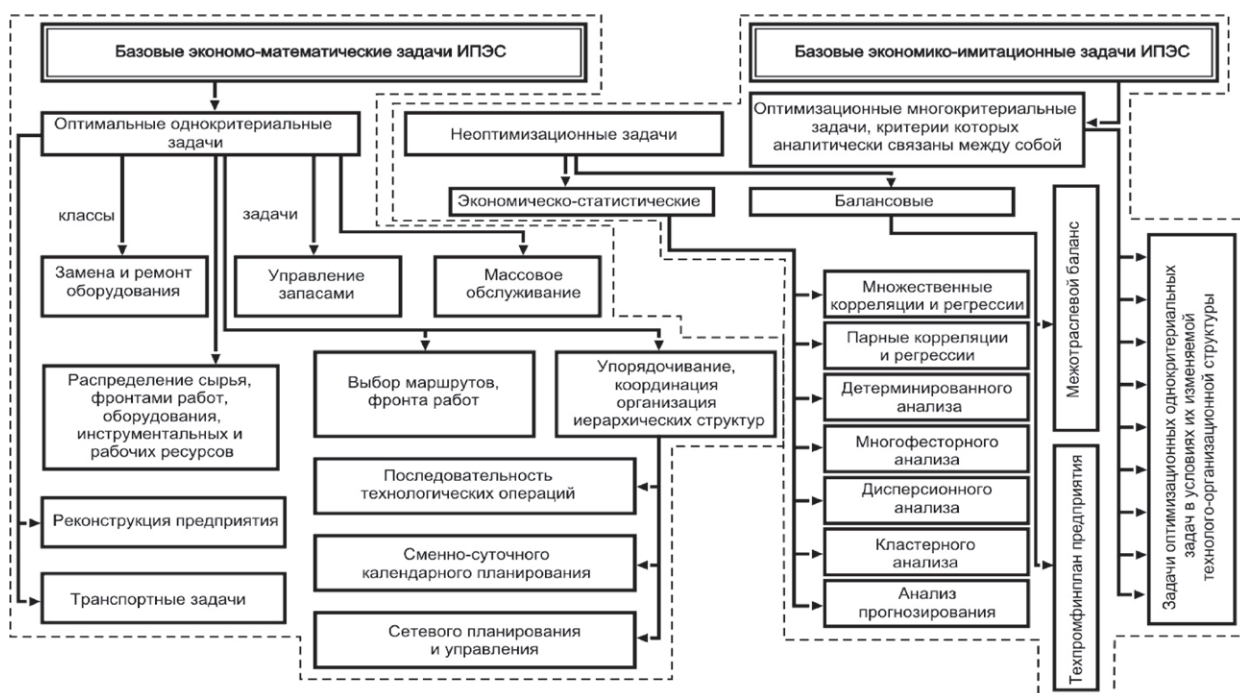


Рис. 3. Классификация нечетких методов и моделей принятия решений интеллектуальных систем глубоководной добычи полезных ископаемых в условиях риска (неопределенности)

Рассмотренные критерии очерчивают круг идей, которые определяют принципы принятия решений в условиях стохастической неопределенности. В плане развития этих принципов рассмотрим особенности принятия решений в условиях нечеткой неопределенности. Теория нечетких множеств и основанная на ней нечеткая логика являются в настоящее время одним из важнейших формализмов, используемых в искусственном интеллекте для моделирования неопределенности в знаниях. Нечеткая логика является основой приближенных (нечетких) рассуждений, которые являются в последние годы наиболее популярным инструментом, используемым в системах нечеткого вывода для решения проблем в нечетких, неопределенных условиях [2; 6, с. 137–138; 7, с. 155–160].

Выводы. Методы принятия решений в условиях неопределенности являются узкоспециализированными, ориентированными на отдельные виды неопределенностей: стохастическую, нечеткую или интервальную. Корректные методы взаимной трансформации или учета их различных композиций мало разработаны. Во всех указанных направлениях ведутся интенсивные исследования, но в целом в настоящее время проблема принятия многокритериальных решений в условиях неопределенности далека от исчерпывающего решения.

Список литературы

1. *Зубкова Е.* «Умное месторождение» для оптимального промысла / Е. Зубкова [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.energyland.info/analitic-show-123296> (дата обращения: 29.08.2014).
2. *Петров К. Э.* Компараторная структурно-параметрическая идентификация моделей скалярного многофакторного оценивания: моногр. / К. Э. Петров, В. В. Крючковский. — Херсон: ОЛДИ-плюс, 2009. — 294 с.
3. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. — М.: Мир, 1976. — 168 с.
4. *Zadeh L. A.* Fuzzy Sets / L. A. Zadeh // Information and Control. — 1965. — № 8.
5. *Беллман Р.* Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. Заде // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. — М.: Мир, 1976.
6. *Крючковский В. В.* Методы и модели принятия многокритериальных решений с учетом интервальной неопределенности / В. В. Крючковский // Информационные технологии и информационная безопасность в науке, технике и образовании, Севастополь, 7–12 сентября 2009 г.: материалы Междунар. науч.-практ. конф. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2009.
7. *Черный С. Г.* Элементы технологии групповой классификации многопризнаковых объектов для поддержки принятия решений / С. Г. Черный // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2013. — № 1 (46).

ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ ГМА–ГУМРФ

УДК 531.3

Б. Ф. Клочков,
канд. техн. наук, доцент, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ ГМА–ГУМРФ

THE HISTORY OF THE THEORETICAL MECHANICS CHAIR GMA–GUMRF

В статье кратко изложена история кафедры теоретической механики ГМА с момента создания Соединенного училища дальнего плавания до настоящего времени.

The article gives briefly the history of the theoretical mechanics chair GMA since the inception of the United sea-going sailing naval school to the present.

Ключевые слова: теоретическая механика, кафедра, учебный процесс, методическое обеспечение, научная школа.

Key words: theoretical mechanics, chair, learning process, methodical support, scientific school.

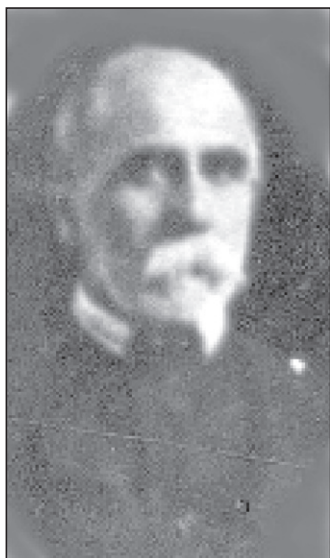
В 1876 г. указом императора Александра II были образованы Мореходные классы Санкт-Петербургского речного яхт-клуба. В 1902 г. император Николай II учредил на базе классов Училище дальнего плавания. В 1904 г. Училищу было присвоено имя императора Петра Великого в связи с 200-летием Санкт-Петербурга. В 1907 г. на базе Училища образовано Соединенное училище дальнего плавания и судовых механиков торгового флота имени императора Петра Великого. История кафедры теоретической механики Государственной морской академии ведет свое начало от этого училища.

В «Положении об учебных заведениях для подготовки судовых механиков торгового флота» говорилось, что «В училище судовых механиков торгового флота должно преподавать: закон божий, русский язык, математику (арифметику, алгебру, геометрию с тригонометрией), физику с химией, электротехнику, теоретическую и прикладную механику, сопротивление материалов, паровую механику, устройство и теорию корабля, материаловедение (сведения о технологии), английский язык, описание заслуживающих особого внимания повреждений судовых машин и котлов, а также способов исправления этих повреждений судовыми средствами, черчение, специальное узаконение, касающаяся торгового мореплавания, оказание первой помощи при несчастных случаях...

Из перечисленных выше предметов к общеобразовательным относятся: закон божий, русский язык, математика (арифметика, алгебра, геометрия с тригонометрией), физика с химией, специальное узаконение, касающееся торгового мореплавания, английский язык, оказание первой помощи при несчастных случаях, черчение в первых двух классах.

К специальным предметам относятся: теоретическая и прикладная механика, сопротивление материалов, электротехника, специальный отдел физики о теплоте, паровая механика, устройство и теория корабля, материаловедение (сведения о технологии), описание заслуживающих особого внимания повреждений судовых машин и котлов, а также способов исправления этих повреждений судовыми средствами, черчение в двух последних классах».

Теоретическая механика как предмет читалась учащимся Училища судовых механиков торгового флота во 2-м и 3-м классах. Во 2-м классе на этот предмет отводилось 3 часа в неделю, а в 3-м классе — один час. В Училище судовых механиков данный предмет преподавал профессор, полковник Корпуса морских инженеров В. М. Сухомель.



В. М. Сухомель

В 1919 г. Училище было преобразовано в Петроградский техникум водных путей сообщения. В Техникуме теоретическую механику для учащихся судомеханического отделения продолжил читать В. М. Сухомель. В 1924 г. Техникум был переименован в Ленинградский морской техникум. В Ленинградском морском техникуме теоретическая механика преподавалась на всех отделениях техникума. Предмет читали Н. М. Косач, Л. А. Ширинкин, Г. К. Федоров, Б. В. Кощевой.

В 1935 г. был образован Гидрографический институт Главсевморпути. На кафедре математики преподавались следующие дисциплины: высшая математика, теоретическая механика, начертательная геометрия, способ наименьших квадратов. На кафедре работали: заведующий кафедрой профессор П. Д. Белоновский; доцент П. И. Савкевич; преподаватель Н. И. Калинин; аспирант П. В. Григорьев; канд. техн. наук, доцент Е. Т. Чернышев; канд. физ.-мат. наук, доцент Б. И. Рак и др.

В 1945 г. Гидрографический институт Главсевморпути был преобразован в Высшее арктическое морское училище Главсевморпути (ВАМУ). В 1949 г. ВАМУ было присвоено имя адмирала С. О. Макарова. Вместе с образованием Училища была образована кафедра технической механики, которую возглавил канд. техн. наук, профессор А. Г. Воробьев.

Воробьев Александр Григорьевич родился в 1891 г. Кандидат технических наук, профессор. Окончил в 1916 г. институт инженеров путей сообщения (г. Петроград). С 1916 по 1920 г. работал на Северной железной дороге. С 1920 по 1922 г. слушал лекции в Петроградском государственном университете. С 1920 по 1930 г. работал в Институте инженеров путей сообщений (на факультете воздушных сообщений) лаборантом, преподавателем, доцентом. В этот же период времени преподавал также и в Ленинградском политехническом институте, Высшей военной воздухоплавательной школе, ВВМУ им. Фрунзе, а с 1930 по 1933 г. — в Ленинградском институте гидравлики и гидроэнергетики. С 1933 по 1941 г. работал инженером, заведующим расчётным сектором завода «Матприбор», завода «Гидроприбор». С 1935 по 1940 г. — на преподавательской работе в ЛИИЖТе. С 1941 по 1945 г. преподавал в Мордовском государственном педагогическом институте, Тульском механическом институте, Тульском педагогическом институте. С 1945-го работал ученым секретарем ВНИИ метрологии. С 1946 г. — начальник кафедры технической механики ВАМУ.

На этой кафедре также преподавали доценты Г. А. Флейнар, И. А. Гаврилов, старший преподаватель Н. В. Гозадинов, канд. техн. наук, доценты Г. В. Ковалевский, В. М. Малышко; В. М. Куксинский.

В 1952 г. кафедра технической механики была объединена с кафедрой математики. Новая кафедра стала называться кафедрой высшей математики и технической механики. Кафедру возглавил канд. физ.-мат. наук, доцент А. В. Иванов.

В 1944 г. Ленинградский морской техникум был реорганизован в Ленинградское высшее мореходное училище (ЛВМУ) [1], в котором в 1944 г. была создана кафедра высшей математики и теоретической механики. Кафедру возглавил кандидат технических наук, доцент К. В. Меликов. В 1949 г. была образована кафедра теоретической механики и начертательной геометрии, начальником которой после реорганизации был назначен К. В. Меликов.

Меликов Константин Венедиктович родился в 1886 г. Кандидат технических наук, доцент. В 1910 г. окончил физико-математический факультет математического отделения Санкт-Петербургского университета и был оставлен в университете для подготовки к профессорской деятельности. С 1911 г. преподавал в Институте инженеров путей сообщения. С 1911 г. сотруд-

начал с Бюро Международной библиографии при АН по отделам математики и механики для Международного каталога научной литературы в Лондоне. С 1912 по 1917 г. работал хранителем кабинета практической механики университета. С 1914 по 1918 г. участвовал в Первой мировой войне. С 1918 по 1924 г. преподавал в Петроградском университете, работал ученым секретарем Бюро Международной библиографии при АН по отделам математики и механики (до 1936 г.). С 1924 г. работал старшим библиотекарем Библиотеки АН. С 1930 по 1941 г. преподавал в Ленинградском горном институте, а с 1941 по 1942 г. — в Авиационном институте г. Ленинграда. С 1942 по 1944 г. работал заведующим музеем и библиотекой, ученым секретарем Всесоюзного НИИ метрологии. В 1943–1945 гг. — доцент ЛИСИ. С 1944 г. — на преподавательской работе в ЛВМУ.

В ЛВМУ на вышеуказанных кафедрах теоретическую механику преподавали канд. техн. наук, доцент М. В. Лавров; канд. физ.-мат. наук, доцент К. П. Страшнина; ст. преподаватель Д. П. Беклемешев; ассистент Н. Л. Сиверс и др. Дисциплине «Теоретическая механика» отводилось 220 часов, и она читалась на всех факультетах на II и III курсах.

В 1954 г. произошло объединение ЛВМУ и ВАМУ имени адмирала С. О. Макарова. В результате объединения возникло Ленинградское высшее инженерное морское училище имени адмирала С. О. Макарова. В 1955 г. в Училище была образована кафедра теоретической механики, которую возглавил профессор А. С. Кельзон.



Кельзон Анатолий Саулович (1908–1994). Доктор технических наук, профессор. Участник Великой Отечественной войны. Награжден двумя боевыми орденами и тремя медалями. Основатель школы по динамике роторных машин. Область научных интересов: пропорциональная навигация [2]; динамика высокооборотных установок и машин с упругими опорами роторов. В 1931 г. окончил Ленинградский институт гражданского воздушного флота. Преподавал в Ленинградском политехническом институте. С 1955 по 1983 г. руководил кафедрой теоретической механики ЛВИМУ имени адмирала С. О. Макарова.

Профессор А. С. Кельзон внес большой вклад в становление кафедры. Был соавтором общепризнанных учебных пособий [3; 4], выдержавших много изданий как на русском, так и на иностранных языках и используемых в учебном процессе в настоящее время. С 1969 по 1980 г. входил в состав Научно-методического совета по теоретической механике Министерства высшего и среднего специального образования СССР. Именно при непосредственном участии А. С. Кельзона формировались научные кадры кафедры. Профессор А. С. Кельзон подготовил двух докторов и 19 кандидатов наук. Является автором пяти монографий и более 180 научных статей. Коллективом кафедры было получено более ста авторских свидетельств и шесть зарубежных патентов на изобретения.

Исследования в области динамики высокооборотных роторов оказались настолько результативными, что на этой основе было выполнено много хозяйственных заказов для судостроительной, машиностроительной отраслей и легкой промышленности. Для обеспечения этих работ командованием ЛВИМУ в 1973 г. при кафедре теоретической механики была организована научно-исследовательская лаборатория (НИОЛ упругих подшипников ЛВИМУ имени адмирала С. О. Макарова) [5], которую до конца жизни возглавлял А. С. Кельзон. Штат кафедры и лаборатории достигал 35 сотрудников. Наиболее полно результаты научной работы кафедры и лаборатории изложены в монографиях [6; 7].

Кафедра теоретической механики неоднократно отмечалась командованием ЛВИМУ как лучшая среди общеобразовательных кафедр по всем видам ее деятельности: учебная, научно-

исследовательская, научно-методическая, организационно-методическая, воспитательная и общественная работа. Об этом свидетельствуют 16 вымпелов и 9 почетных грамот, врученных кафедре.

На кафедре теоретической механики преподавали д-р техн. наук, профессор А. С. Кельзон; канд. техн. наук, доцент К. Т. Большаков; старший преподаватель А. Н. Ковалев; канд. техн. наук, доцент О. В. Григорьева; канд. техн. наук, доцент В. И. Прядилов; канд. техн. наук, доцент Е. Г. Бергер; канд. техн. наук, доцент А. А. Зверев; канд. техн. наук, доцент Н. И. Алексеева; ассистент Ю. Ф. Карташев; канд. техн. наук, доцент В. И. Яковлев; канд. техн. наук, ассистент В. А. Арпийнен; канд. техн. наук, доцент Б. Ф. Клочков; канд. техн. наук, ассистент А. М. Щербаков; канд. техн. наук, доцент А. П. Зобнин; доцент Е. В. Потехина; канд. техн. наук, доцент П. М. Гукьямухов и др.

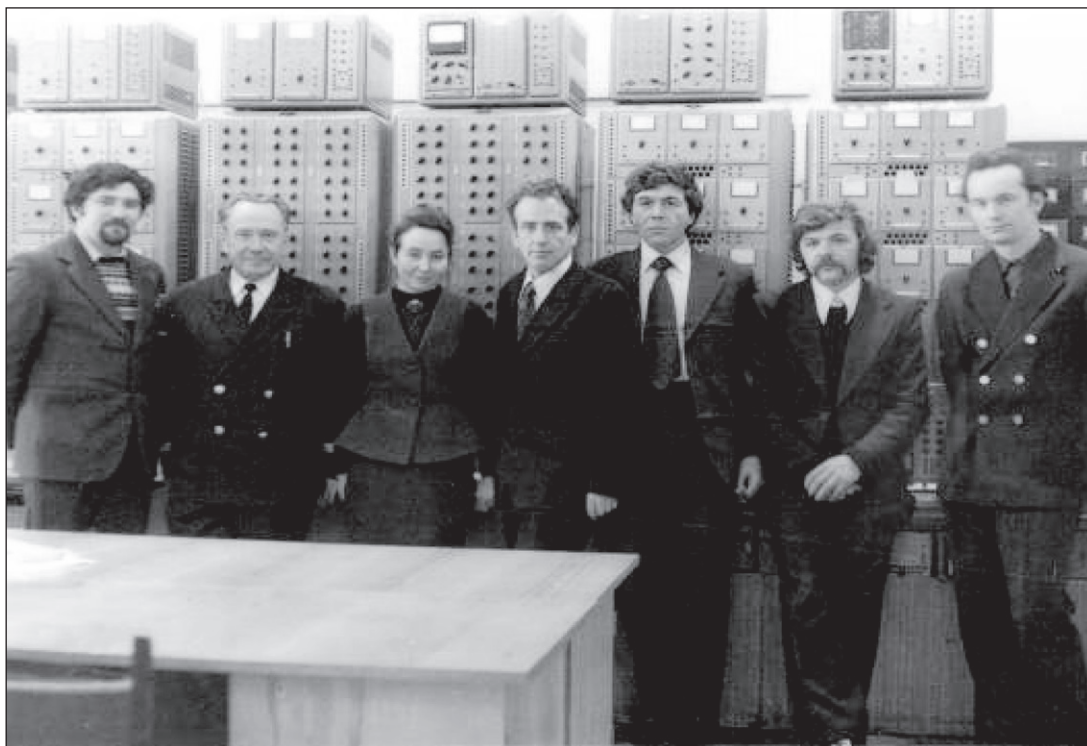


Прядилов Вадим Иванович (1917–2004) родился в Воронеже. Окончил ЛПИ имени М. И. Калинина в 1941 г. С июня 1941 по сентябрь 1941 г. воевал красноармейцем 533-го стрелкового полка 128-й стрелковой дивизии Ленинградского фронта. Трижды был в окружении. В августе 1941 г. в боях под Новгородом был ранен в ногу, но остался в строю. Ранение помешало выйти из окружения, и Вадим Иванович остался на оккупированной территории. В сентябре 1943 г. был зачислен в специальный отряд № 5 (отряд СМЕРШ) Штаба Партизанского движения Калининского фронта. С отдельными подразделениями был послан с заданием в Латвию. В августе 1944 г. бойцы соединились с частями Советской армии в районе г. Резекне. В. И. Прядилов был назначен командиром пешей разведки. В военных действиях был дважды ранен. Из-за второго ранения, полученного под

Берлином, стал инвалидом. Был демобилизован в звании сержанта. Боевые награды В. И. Прядилова: орден Славы III степени, орден Отечественной войны II степени, орден Красной Звезды, медаль «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.»

Кандидат технических наук, доцент. С 1960 по 1990 г. работал доцентом кафедры теоретической механики, старшим научным сотрудником НИОЛ упругих подшипников ЛВИМУ имени адмирала С. О. Макарова. Внес большой вклад в развитие экспериментальной научной базы кафедры и лаборатории, в частности разработал схему и собрал комплект аппаратуры для измерения виброперемещений высокооборотных роторов с частотой вращения до 150 тыс. об/мин. Под руководством и при участии В. И. Прядилова аппаратура успешно применялась в экспериментальных исследованиях госбюджетных и хоздоговорных НИР кафедры.

Ковалев Андрей Наумович родился в 1909 г. в Гомеле. В 1926–1929 гг. работал рабочим на фабрике в Ленинградской области. В 1929–1934 гг. учился и закончил Лесотехническую академию имени Кирова (механико-технологический факультет). В 1932–1935 гг. работал инженером ОТК, помощником начальника цеха фабрики «Красный октябрь» (г. Ленинград). В 1935–1937 гг. работал старшим инженером лаборатории фабрики «Прометей» (г. Ленинград). В 1937 г. работал помощником начальника факультета железнодорожного техникума в г. Ленинграде. В 1937–1941 гг. — ассистент кафедры теоретической механики Института инженеров связи (г. Ленинград). С июня 1941 г. воевал в артиллерийских подразделениях Красной армии. Закончил службу в армии в должности начальника штаба 193-го Гвардейского артиллерийского полка 26-й механизированной дивизии 2-го Балтийского фронта. После демобилизации — старший инженер цеха фабрики им. Луначарского. В 1947–1960 гг. — старший лаборант, ассистент, старший преподаватель, начальник лаборатории кафедры теоретической механики ЛВМУ, ЛВИМУ имени адмирала С. О. Макарова. Боевые награды: орден Отечественной войны II степени (1944), медаль «За Победу над Германией» (1946).



Коллектив кафедры теоретической механики. 1978 г.



Группа создателей упругой опоры подшипника:
А. С. Кельзон, А. В. Кузьмин, В. Д. Захаров,
Э. Е. Богорад, В. Я. Гуляев



Группа создателей опоры вала:
А. В. Кузьмин, А. Е. Коротаев, А. А. Кельзон,
В. Д. Захаров, Б. Ф. Клочков, А. М. Щербаков



Творческий коллектив кафедры:
Ю. П. Циманский, Н. И. Алексеева, Б. Ф. Клочков



Творческий коллектив кафедры:
А. В. Кузьмин, А. С. Кельзон, Э. Е. Богорад



В 1983 г. кафедру возглавил профессор В. И. Яковлев.

Яковлев Валентин Иванович (1937–1988). Доктор технических наук, профессор. Область научных интересов: высокооборотные роторные системы, исследование работы подшипниковых опор на газовой смазке. В 1962 г. окончил факультет автоматики ЛЭТИ имени В. И. Ульянова (Ленина). В 1962–1965 гг. работал в ЦНИИ имени академика А. Н. Крылова. С 1965 г. — на научной и преподавательской работе в ЛВМУ имени адмирала С.О. Макарова, занимал должности от инженера НИО, ассистента до начальника кафедры теоретической механики.

В 1989 г. начальником кафедры была назначена кандидат технических наук, доцент О. В. Григорьева.



Григорьева Ольга Васильевна (1922–2003) родилась в Петрограде. Война застала ее, студентку Гидрографического института, на практике в Выборгском заливе. 9 июля прибыла в Ленинград. С 15 июля по 30 сентября работала на оборонительных работах. В 1941 г. по распоряжению СНК Гидрографический институт ГУСМА был закрыт. До 7 января 1942 г. находилась в Ленинграде. Выполняла работу по противопожарной обороне в доме № 14 по Лиговской улице. Выехала в начале января 1942 г. в Волхов I, где с января по май работала дежурной по симплексной связи на 1-й дистанции сигнализации и связи Кировской железной дороги. В июле 1942 г. перешла работать в Спецконтору № 2 НК электростанций техником гидротурбинного цеха и была откомандирована на монтаж «Нива ГЭС 2», затем на Ворошиловскую ГЭС

(г. Фрунзе). В июле 1943 г. — вновь на монтаж «Нива ГЭС 2», а с апреля 1944 г. — на Аламединскую ГЭС (г. Фрунзе), с ноября 1944 г. работала на монтаже X ГЭС Ленэнерго Роухиала. 5 марта уволилась в связи с продолжением учебы (из автобиографии О. В. Григорьевой). Была награждена медалью «За оборону Советского Заполярья». Окончила ВАМУ в 1947 г.

Кандидат технических наук, доцент, почетный работник морского флота. С 1948 по 1999 г. работала аспирантом, ассистентом, старшим преподавателем, доцентом кафедры теоретической механики ЛВМУ, ЛВМУ имени адмирала С. О. Макарова, ГМА имени адмирала С. О. Макарова. Многократно признавалась Ученым советом ЛВМУ лучшим куратором училища.

В 1990 г. начальником кафедры теоретической механики был избран Б. Ф. Ключков.



Ключков Борис Федорович родился 7 июля 1941 г. в Ленинграде. Поступил в аспирантуру ЛВМУ имени адмирала С. О. Макарова в 1966 г. После окончания аспирантуры работал в ЛВМУ–ГМА–ГУМРФ. Прошел путь от ассистента до начальника кафедры теоретической механики ГМА. Кандидат технических наук, доцент, почетный работник морского флота, награжден тремя медалями РФ. Б. Ф. Ключков является автором более ста научных и учебно-методических работ, из них 50 авторских свидетельств и три зарубежных патента на изобретения. Б. Ф. Ключков подготовил двух кандидатов наук, разработал и внедрил в учебный процесс оптимальную методику преподавания и полный комплекс методического обеспечения дисциплин, закрепленных за кафедрой теоретической механики.



Преподавательский состав кафедры.
Учебный городок 4, 2006 г.

Учебно-методическая база представляет собой полный комплекс учебно-методической документации, литературы, плакатов и комплекта статических и кинематических моделей по образовательным дисциплинам кафедры.

Кафедра обеспечивает образовательные дисциплины «Механика», «Механика (теоретическая)», «Теоретическая механика».

Научное направление кафедры: снижение виброактивности и повышение ресурса роторных установок и машин различного назначения.

В 2012 г. произошло объединение ГМА и СПГУВК. Новое учебное учреждение получило наименование Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова.

С 2013 г. кафедру теоретической механики возглавил д-р техн. наук, профессор М. В. Сухотерин.

Сухотерин Михаил Васильевич родился 6 декабря 1948 г. В 1972 г. окончил Куйбышевский авиационный институт (ныне — Самарский государственный аэрокосмический университет), инженер-механик. До 1974 г. работал там же старшим инженером в НИГ кафедры конструкций и проектирования летательных аппаратов, затем обучался в аспирантуре ЛПИ на кафедре теоретической механики. В 1978 г. защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Механика деформируемого твердого тела», кандидат физико-математических наук.

В 1977–1980 гг. работал старшим инженером в СКБ «Ленгидросталь», участвовал в расчётах на прочность красноярского судопропускника и сегментных затворов защитных сооружений Ленинграда от наводнений.

С 1980 г. и по настоящее время преподаёт в ЛИВТ–СПГУВК–ГУМРФ. В 2010 г. защитил докторскую диссертацию по специальности «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», доктор технических наук; является автором более 60 научных и учебно-методических работ, среди которых две научные монографии, посвященные применению численно-аналитических методов в расчетах на прочность плоских элементов судовых и гидротехнических конструкций [8; 9].

Кафедра теоретической механики имеет славное историческое прошлое, стремится сохранить и приумножить традиции профессионального обучения курсантов Морской академии, патриотического воспитания молодежи, научно-исследовательской деятельности на благо России.

Список литературы

1. От мореходных классов до морской академии. — СПб.: Историческая иллюстрация, 2011. — 244 с.
2. Кан В. Л. Теория пропорциональной навигации / В. Л. Кан, А. С. Кельзон. — Л.: Судостроение, 1965. — 423 с.
3. Мещерский И. В. Сборник задач по теоретической механике. — СПб.: Лань, 2011. — 448 с.

4. Бать М. И. Теоретическая механика в примерах и задачах / М. И. Бать, Г. Ю. Джанелидзе, А. С. Кельзон. — СПб.: Лань, 2010. — Ч. 1. — 672 с.; Ч. 2. — 649 с.

5. Сазонов А. Е. Научно-исследовательская работа в Государственной морской академии имени адмирала С. О. Макарова (прошлое и настоящее) / А. Е. Сазонов // Эксплуатация морского транспорта: тр. — СПб.: ГМА имени адмирала С. О. Макарова, 2006. — 348 с.

6. Кельзон А. С. Расчет и конструирование роторных машин / А. С. Кельзон. — Л.: Машиностроение, 1977. — 288 с.

7. Кельзон А. С. Динамика роторов в упругих опорах / А. С. Кельзон. — М.: Наука, 1982. — 279 с.

8. Сухотерин М. В. Метод суперпозиции исправляющих функций в задачах теории пластин / М. В. Сухотерин. — СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2009. — 265 с.

9. Барышников С. О. Прочность, устойчивость. Колебания плоских элементов судовых конструкций / С. О. Барышников, М. В. Сухотерин. — СПб.: Судостроение, 2012. — 167 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В. А. Бабурин, заведующий кафедрой, кандидат технических наук, профессор
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
BaburinVA@gumrf.ru

Ю. Г. Ксенофонов, старший преподаватель кафедры радиосвязи на морском флоте
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
ksenofontov.ura@mail.ru

Е. В. Макарьев, аспирант
Научный руководитель — Безюков О. К., заведующий кафедрой, доктор технических наук, профессор
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
okb-nauka@yandex.ru

Ю. Н. Цветков, заведующий кафедрой технологии судоремонта, доктор технических наук, профессор
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
yuritsvet@mail.ru

А. А. Иванченко, доктор технических наук, действительный член Академии транспорта РФ
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
IvanchenkoAA@gumrf.ru

И. А. Щенников, аспирант
Научный руководитель — Иванченко А. А., инженер-конструктор, доктор технических наук
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова,
Открытое акционерное общество «Звезда»
ivanschennikov@yandex.ru

А. А. Иванченко, аспирант
Научный руководитель — Иванченко А. А., инженер-конструктор, доктор технических наук
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
IvanchenkoAA@gumrf.ru

В. Ф. Мищенко, заведующий кафедрой, кандидат технических наук, доцент
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
MishenkoVF@gumrf.ru

И. В. Сафронов, электромеханик, аспирант
Научный руководитель — Мищенко В. Ф., заведующий кафедрой, кандидат технических наук, доцент
СКФ ЮНИКОМ
safsafron@yandex.ru

А. В. Григорьев, генеральный директор, кандидат технических наук
ООО «МИП “Электродвижение судов”», Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
info@eds-marine.ru

Р. Р. Зайнуллин, руководитель проектов
ООО «МИП “Электродвижение судов”»
zaynullin@eds-marine.ru

М. С. Горохов, аспирант
Научный руководитель — Роннов Е. П., доктор технических наук, профессор
Волжская государственная академия водного транспорта (ВГАВТ)
mahailo@mail.ru

В. А. Коротков, доктор технических наук, профессор, почетный машиностроитель РФ
Нижнетагильский технологический институт (филиал) Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (НТИ (ф) УрФУ)

А. В. Павлов, аспирант
Научный руководитель — Чистов В. Б., заведующий кафедрой сопротивления материалов и механики, доктор технических наук, профессор
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
denver_toropes@mail.ru

В. Б. Чистов, заведующий кафедрой сопротивления материалов и механики, доктор технических наук, профессор
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
ChistovVB@gumrf.ru

К. А. Васильев, аспирант
Научный руководитель — Дацюк Т. А., декан факультета инженерной экологии и городского хозяйства, заведующая кафедрой строительной физики и химии, доктор технических наук, профессор
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
kirrrrill@mail.ru

М. Б. Иванова, кандидат экономических наук, доцент
Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова
max-ivanov@mail.ru

Н. Ю. Тимченко, менеджер по транспортным перевозкам, аспирант;
научный руководитель — Иванова М. Б., кандидат экономических наук, доцент
Общество с ограниченной ответственностью «Стар-Дон 2» (ООО «Стар-Дон 2»)
Natali123_87@inbox.ru

Р. Г. Король, аспирант, преподаватель кафедры
Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС)
kingkhv27@mail.ru

А. С. Балалаев, заведующий кафедрой технологии транспортных процессов и логистики, доктор технических наук, профессор
Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС)
bas51@mail.ru

Ю. Я. Зубарев, доктор технических наук, профессор

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
kaf_vsi@gumrf.ru

Д. С. Ловяников, аспирант

Научный руководитель — Зубарев Ю. Я., доктор технических наук, профессор
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
Dmitry.lov88@gmail.com

Н. Н. Зиненко, начальник технического отдела, кандидат технических наук

ООО «СКФ Новошип технический менеджмент»
N.Zinenko@scf-group.ru

Н. И. Николаев, доктор технических наук, профессор

Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова

В. Е. Панамарев, начальник технического отдела

ООО «СКФ Новошип технический менеджмент»
panamarev@list.ru

М. А. Вострикова, кандидат технических наук, доцент

Краснодарский государственный университет культуры и искусств
marishavostrikova@yandex.ru

Е. Г. Трунин, генеральный директор, кандидат экономических наук

ФАУ «Российский речной регистр»
post@rivreg.ru

И. В. Липатов, доктор технических наук, профессор

Волжская государственная академия водного транспорта
i_lipatov@mail.ru

А. Е. Пластинин, кандидат технических наук, доцент

Волжская государственная академия водного транспорта
plastininae@yandex.ru

В. И. Решняк, доктор технических наук, профессор

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
ReshnyakVI@gumrf.ru

А. И. Каляуш, аспирант

научный руководитель — Решняк В. И., доктор технических наук, профессор
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова

К. В. Решняк, аспирант

Научный руководитель — Решняк В. И., доктор технических наук, профессор
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова

Ю. А. Арестова, кандидат экономических наук, доцент
Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова
Arestova5@mail.ru

А. С. Погарская, кандидат экономических наук, доцент
Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова
pogarsckaya.anastasia@yandex.ru

С. С. Соколов, начальник управления информатизации, кандидат технических наук
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
SokolovSS@gumrf.ru

А. С. Карпина, студент
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова

С. С. Малов, старший преподаватель
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
kaf_koib@gumrf.ru

В. Е. Марлей, доктор технических наук, профессор
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
MarleyVE@gumrf.ru

С. Н. Плотников, старший преподаватель
Научный руководитель — Марлей В. Е., доктор технических наук, профессор
Воронежский филиал Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
279622@mail.ru

А. А. Чертков, кандидат технических наук, доцент
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
chertkov51@mail.ru

Д. С. Тормашев, старший преподаватель, кандидат технических наук
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
kfspguk@mail.ru

С. В. Сабуров, аспирант
Научный руководитель — Сахаров В. В., доктор технических наук, профессор
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
kfspguk@mail.ru

Ю. Г. Фирсов, кандидат технических наук, доцент кафедры гидрографии моря
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
gidrograph@mail.ru

В. А. Доровской, доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования судов и автоматизации производства
Керченский государственный морской технологический университет
sergiiblack@gmail.com

С. Г. Черный, кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования судов и автоматизации производства

Керченский государственный морской технологический университет
sergiiblack@gmail.com

Б. Ф. Клочков, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
kaf_tm@gumrf.ru

Научное периодическое издание

Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова

Выпуск 5 (27)

2014 год

Выпускающий редактор *Е. А. Юдакова*
Дизайнер *С. В. Курбатов*
Технический редактор *М. Н. Евсюткина*
Набор *О. Ю. Собянина*
Корректор *О. В. Миняева*

Подписано в печать с оригинал-макета 26.10.14. Формат 60×90/8
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 25,75. Тираж 500 экз. Заказ № 94

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7

Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
198035, Санкт-Петербург, Межевой канал, 2