

ВЕСТНИК

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

Выпуск 3 (22)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- С. Г. Чулкин, д.т.н., проф. (*главный редактор*) • В. И. Решняк, д.т.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., д.ю.н., проф. • А. В. Кириченко, д.т.н., проф. • М. А. Колосов, д.т.н., проф.
- Е. А. Королева, д.э.н., проф. • Е. А. Лаврентьева, д.э.н., проф. • А. Ю. Ластовцев, к.т.н., проф.
- С. Б. Лебедев, д.э.н., проф. • Г. В. Макаров, д.т.н., проф. • А. М. Никитин, д.т.н., проф.
- В. Е. Марлей, д.т.н., с.н.с. • А. П. Нырков, д.т.н., проф. • Т. А. Пантина, д.э.н., проф.
- П. М. Лысенков, д.т.н. • Л. И. Погодаев, д.т.н., проф. • Н. В. Растрьгин, к.т.н., доц.
- А. Е. Сазонов, 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. • Г. В. Ушакова, д.и.н., проф.
- В. И. Черненко, д.т.н., проф. • В. Б. Чистов, д.т.н., проф. • А. А. Ершов, д.т.н., доц.
- В. В. Романовский, д.т.н., проф. • А. П. Горобцов, к.т.н., доц. • Б. А. Смыслов, к.ю.н., проф.
- М. В. Сухотерин, д.т.н., проф. • А. Ю. Шаронов, к.т.н., доц.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

- С. О. Барышников — ректор Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, д.т.н., проф. • Ю. Н. Горбачев — генеральный конструктор ОАО «Инженерный центр судостроения», д.т.н., проф. • С. Гуца — 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. • И. И. Костылев — заведующий кафедрой ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, д.т.н., проф. • А. И. Пошивай — заместитель руководителя Федерального агентства морского и речного транспорта • С. В. Орлов — директор Санкт-Петербургского монетного двора (филиал ФГУП «Гознак»), к.т.н. • Н. Г. Смирнов — вице-президент Ассоциации судоходных компаний, к.т.н. • Р. М. Юсупов — директор Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН, д.т.н., проф., член-корреспондент РАН • Р. Качиньски — проректор по развитию и сотрудничеству Технического университета (г. Белосток, Польша), д.т.н., проф.

Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2013. — Вып. 3. — 170 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; морские и внутренние водные пути, гидротехнические сооружения и порты; логистика и транспортные технологии; экономика, организация, управление, планирование и прогнозирование на водном 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.





ДОРОГИЕ КОЛЛЕГИ!

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ И РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА
«ВЕСТНИК ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА ИМЕНИ АДМИРАЛА С. О. МАКАРОВА»

ТЕПЛО И СЕРДЕЧНО ПОЗДРАВЛЯЕТ ВАС
С НОВЫМ ГОДОМ И РОЖДЕСТВОМ!

В КАНУН ЭТИХ РАДОСТНЫХ ПРАЗДНИКОВ
МЫ ВСЕГДА С ИСКРЕННЕЙ НАДЕЖДОЙ ЖДЕМ ДОБРЫХ ПЕРЕМЕН,
ВЕРИМ В СЧАСТЛИВОЕ БУДУЩЕЕ.

ЭТА ВЕРА ПОЗВОЛЯЕТ НАМ ПРЕОДОЛЕВАТЬ ПРЕПЯТСТВИЯ,
РАДОВАТЬСЯ ПОБЕДАМ.

ХОТИМ ОТ ВСЕЙ ДУШИ ПОЖЕЛАТЬ,
ЧТОБЫ ВЕРА ВСЕГДА СОПРОВОЖДАЛА ВАС,
НАПОЛНЯЯ ДУШУ И РАЗУМ НЕИССЯКАЕМОЙ ЭНЕРГИЕЙ,
ДАВАЯ ВОЗМОЖНОСТЬ ПРЕТВОРЯТЬ В ЖИЗНЬ
СУДЬБОНОСНЫЕ РЕШЕНИЯ.

ПУСТЬ 2014 ГОД ПРИНЕСЕТ ВАМ ОЩУЩЕНИЕ ПОЛНОТЫ ЖИЗНИ
ВО ВСЕХ ЕЕ ПРОЯВЛЕНИЯХ И УДОВЛЕТВОРЕНИЕ
В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.

ДОБРОГО ЗДОРОВЬЯ ВАМ, ВАШИМ РОДНЫМ
И БЛИЗКИМ, МИРА И БЛАГОПОЛУЧИЯ В НОВОМ ГОДУ!

СОДЕРЖАНИЕ

СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ 6

<i>Сазонов А. Е., Дерябин В. В.</i> Прогнозирование траектории движения судна при помощи нейронной сети	6
<i>Шейкин Т. Ю.</i> Генетический и муравьиный алгоритмы для задачи размещения шлюзов в сети навигационных знаков	14
<i>Логиновский В. А., Вячеславов Е. Л.</i> Применение теории катастроф для классификации сценариев движения судна по створу	20
<i>Грамузов Е. М., Май В. К.</i> Определение основных характеристик спасательного судна методом совместного решения уравнений теории проектирования	25
<i>Лавров Е. В.</i> Генерация панорамного изображения в судовой автоматизированной системе визуального наблюдения	33

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА 38

<i>Сахаров В. В., Таранин А. Г., Чертков А. А.</i> Алгоритм энергоэффективного управления курсом судна	38
<i>Андрианов Е. Н., Сахаров В. В., Таранин А. Г.</i> Диагностирование рабочего процесса судового дизеля по эталонным моделям с применением вейвлетов	46
<i>Каракеев А. Б., Луканин А. В.</i> Теоретические основы анализа контролепригодности судовой электроэнергетической системы и ее элементов	54

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ 59

<i>Барышников С. О., Сухотерин М. В., Ломтева К. О.</i> Расчет на изгиб прямоугольной панели обшивки с центральным ребром жесткости	59
<i>Костылев И. И., Овсянников М. К.</i> Зарубежное судостроение. Состояние и тенденции	66
<i>Wilczewska I. Kaczyński R., Chulkin S. G.</i> The mechanism of wear process of the polymers used in shipbuilding strengthened by unidirectional carbonaceous fibres	71
<i>Никитина Т. Ю.</i> Динамика поперечных колебаний вертикальной заземленной балки	79

ЛОГИСТИКА И ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 89

<i>Иванова М. Б.</i> Применение бенчмаркинга в деятельности транспортно-экспедиторской компании	89
<i>Глушков С. В., Левченко Н. Г., Почесуева Ю. Ю., Коньков Е. М.</i> Построение нечеткой нейросетевой модели информационной системы управления транспортно-логистическим процессом	100

**ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ПЛАНИРОВАНИЕ
И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ 112**

Никифоров В. Г., Никифоров А. В., Ключев В. В. О возможностях сквозного плавания по маршруту Большого европейского водно-транспортного кольца судов российского и западноевропейского флотов 112

Скобелева И. П., Бунакова Е. В. Особенности функционирования и развития компаний водного транспорта России, определяющие их инвестиционную привлекательность 118

Палкина Е. С. Современное состояние и актуальные проблемы развития водного транспорта России 126

Марченко С. С. Возможности повышения конкурентоспособности сухогрузных судов смешанного плавания за счет модернизации флота 136

**РАЗРАБОТКА МОРСКИХ И ШЕЛЬФОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
НЕФТИ И ГАЗА 144**

Мальшиев И. Н., Ивченко Б. П. Природные источники угроз возникновения чрезвычайных ситуаций на арктических шельфовых углеводородных месторождениях России 144

Ивченко Б. П. Проблемы национальной безопасности при освоении шельфовых месторождений Арктики 151

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 162

Рудакова С. А. Концепция выбора метрик информационной безопасности 162

КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ, ФОРУМЫ, ВЫСТАВКИ 167

Рудь В. Ю., Ольховик Е. О. Международный экологический форум «Экобалтика–2013»: натиск молодежной научной и инновационной мысли 167

СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

УДК 656.61.052

А. Е. Сазонов,
д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РАН,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

В. В. Дерябин,
канд. техн. наук, доцент,
Архангельский филиал
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ СУДНА ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

FORECASTING TO PATHS OF THE MOTION SHIP WITH THE HELP OF NEYRONNOY NETWORK

Предлагается модель прогнозирования координат места судна с использованием нейронной сети, позволяющая осуществлять их прогноз в режиме реального времени. При этом используется информация о предшествующей траектории судна.

The model of the forecasting of the coordinates of the place ship is offered with the help of neyronnoy network, allowing realize their forecast in mode of the realtime. Herewith information is used about preceding paths ship.

Ключевые слова: траектория, координаты, нейронная сеть, прогноз.
Key words: path, coordinates, neyronnoy network, forecast.

В О всех существующих системах управления движением судна, решающих задачу удержания судна на заданной траектории, объектом регулирования является судно. Регулятор же обеспечивает решение следующих основных задач:

- определяет текущие значения навигационных параметров движения судна (координаты, ускорение, скорость, курс) и их отклонение от заданных значений;
- рассчитывает прогнозируемые значения навигационных параметров движения судна;
- выполняет расчет управляющих воздействий, обеспечивающих движение судна по заданной траектории.

Из приведенного перечня основных задач, решаемых регулятором, следует, что задача прогнозирования траектории движения судна является их составной частью, что необходимо учитывать и при реализации этой задачи на основе нейронной сети.

Эту задачу необходимо рассматривать как нейросетевой регулятор, который в последующем должен войти в состав нейросетевой системы управления движением судна по заданной траектории.

При построении моделей движения судна на основе нейронных сетей приходится искать ответы на ряд вопросов.

В первую очередь необходимо определить, будет ли она в дальнейшем использоваться в нейросетевой системе управления движением судна с целью его удержания на заданной траектории или ее использование будет ограничено лишь решением одной из частных задач судовождения. Большое значение при этом будет иметь тип выбранной системы управления [7].

Известны два основных типа систем управления:

— следящие системы, задачей которых является поддержание выхода системы (регулируемой величины) на заданной траектории движения объекта управления. В рассматриваемой в настоящей статье задаче регулируемые величины могут быть навигационные параметры движения судна.

— системы стабилизации, задачей которых является поддержание на выходе системы заданного значения регулируемой величины. Примером может служить система стабилизации судна на заданном курсе.

Систему управления движением судна с целью его удержания на заданной траектории следует отнести к классу замкнутых систем, состоящих из регулятора и объекта управления и соответствующих заранее определенной модели управления. В рассматриваемой в статье задаче такой моделью может быть модель управления, обеспечивающая удержание судна на заданной траектории. В процессе проектирования этих систем приходится определять тип метода (модели) управления, который будет реализован в системе. Наиболее известны два следующих метода:

- модельное управление;
- управление по эталонной модели.

Вне зависимости от типа метода для оценки качества регулирования наиболее часто используется управление по минимальному значению дисперсии. В нашем случае это может быть минимальное значение дисперсии смещения центра тяжести судна относительно заданной траектории его движения. К сожалению, рассматриваемая нами система, как известно, является нелинейной. И поэтому ее устойчивости при существующих системах регулирования (использование навигационного и инерциального счисления с коррекцией по спутниковым навигационным системам) обычно удастся добиться только при определенных условиях плавания. При их изменении система остается неустойчивой и приходится ее перенастраивать.

Поэтому для прогнозирования траектории движения судна представляется целесообразным рассмотреть возможность создания адаптивного нейросетевого регулятора.

В настоящее время известны и наиболее часто используются два подхода к построению нейросетевых регуляторов для подобных систем управления [7]:

— прямой подход — регулятор создается непосредственно на нейросетевой модели. Для нашей системы, учитывая ее неустойчивость, этот подход потребует разработки сложной системы ее адаптации в зависимости от изменения текущих условий плавания (в частности, изменения внешних сил, воздействующих на судно);

— косвенный подход — регулятор остается прежний. Нейросетевой же регулятор используется как эталонная модель управления. Можно предположить, что создание подобного адаптивного нейросетевого регулятора, который можно считать эталонной моделью движения судна по заданной траектории, позволит добиться наилучшей устойчивости всей системы управления.

Существующая практика создания подобных нейросетевых регуляторов позволяет выделить следующие основные этапы:

- проведение эксперимента, целью которого является получение данных, представляющих собой объект регулирования «во всем рабочем диапазоне»;
- построение нейросетевой модели объекта регулирования посредством обучения нейросети на множестве экспериментальных образцов;
- синтез регулятора с использованием полученной нейронной модели.

Синтез подобной нейросетевой системы косвенного управления наиболее часто реализуется на основе инверсной модели объекта [7]. Этот подход предлагается использовать и в настоящей статье.

Следуя названным этапам проектирования предлагаемой в настоящей статье нейросетевой модели, на первом этапе проектирования определяется выход сети, то есть выходные величины, которые будет прогнозировать будущая нейронная сеть.

Выходными величинами могут быть ускорение, скорость или координаты центра тяжести судна. Затем нужно определить вход сети.

На втором этапе проектирования выбирается тип и архитектура нейронной сети. Большое значение при этом имеет также характер изменения прогнозируемых величин во времени, которые могут быть рассмотрены статически — как значения в конкретный момент времени или представлять собой временную последовательность. Решается вопрос о выборе либо статической, либо динамической нейронной сети.

Проектируемая нейронная сеть может играть вспомогательную роль или являться непосредственно моделью движения судна, что также оказывает влияние на выбор архитектуры и типа сети. В последнем случае свободные параметры нейронной сети (весовые коэффициенты и пороговые значения) зависят от характеристик судна.

В статье [4, с. 20–27] рассматривалась рекуррентная нейронная сеть, прогнозирующая скорость дрейфа судна в условиях воздействия внешних факторов (ветер и волнение). Эта сеть реализует модель *нелинейной авторегрессии с внешними входами* (NARX). Свободные параметры данной сети зависят от *физических* параметров судна. Обучение производилось на образцах, полученных с использованием имитационной модели, основанной на численном интегрировании дифференциального уравнения. Вид этого уравнения во многом помог определить вектор входного сигнала сети. Другая нейронная сеть прогнозирует компоненты вектора относительной скорости судна в неподвижной системе координат и представляет собой сеть прямого распространения (FFNN). На входе данная сеть имеет величины, зависящие от продольной составляющей относительной скорости, скорости дрейфа и курса судна. Основным недостатком указанной нейросетевой системы является невозможность ее обучения непосредственно по координатам судна, так как выходные образцы представляют собой скорость. Как правило, в ходе натурных наблюдений на судах с высокой точностью известны именно координаты судна, полученные, например, при помощи спутниковых навигационных систем. Поэтому синтез нейронной сети, прогнозирующей координаты судна, можно считать более целесообразным по сравнению с построением сетей, имеющих на выходе ускорение или скорость. Более того, получение в качестве выходного сигнала координаты судна имеет преимущество перед прогнозом скорости или ускорения еще и в том, что исчезает необходимость в численном интегрировании, при котором появляются дополнительные погрешности.

В статьях [3, с. 33–40; 5, с. 229–246] предлагается использовать нейронную сеть для прогноза координат места судна, в которой ее весовые коэффициенты представляют собой физические характеристики судна — массу, коэффициенты присоединенных масс и др. Сеть имеет два нейрона, обладающих тождественной функцией активации. Обучение сети производилось на образцах, полученных в результате натурных наблюдений. Однако данная сеть способна прогнозировать траекторию судна только для узкого класса навигационных ситуаций, соответствующих тем внешним факторам, которые использовались при формировании образцов. Иными словами, сеть не обладает свойством генерализации, что можно попытаться объяснить ограниченным количеством образцов для обучения. Кроме того, используемые для обучения образцы охватывали не все навигационные ситуации, которые могут наблюдаться в действительности.

В [2, с. 172–173] была предложена нейронная сеть, преобразующая вектор относительной скорости судна в координаты судна в локальной системе координат. Данная сеть представляет собой модель NARX и выполняет функции интегрирования относительной скорости во времени. Несмотря на то что на выходе сети получаются координаты, входные образцы не содержат информации о внешних факторах. Свободные параметры указанной сети не зависят от физических характеристик судна. Обучение сети происходит на образцах, полученных в ходе моделирования. Так как выборка входных величин указанной сети формировалась случайным образом, то выходной сигнал — координаты судна — изменялся во времени в тесных пределах (приблизительно от –300 до 300 м). Это обстоятельство позволяет предположить целесообразность использования *приращений* координат в качестве компонент выходного сигнала.

В настоящей статье предлагается построение нейронной сети, прогнозирующей координаты места судна на шаг вперед, если известны его координаты в предшествующие моменты времени. При таком подходе образцы представляют собой непосредственно координаты судна.

Сначала необходимо определить тип нейронной сети. Так как предполагается прогнозирование координат во времени, то имеет смысл использовать динамическую нейронную сеть. Известно [8], что задача прогнозирования временных рядов может быть решена при помощи *фокусированной сети прямого распространения с задержкой по времени* (TLFN). Вход такой сети представляет собой последовательность координат в предыдущие моменты времени, включая и текущее значение координат. Выход — координаты в последующий момент времени.

Используется двухслойная нейронная сеть, первый слой которой содержит 10 нейронов с сигмоидальными функциями активации, а второй слой состоит из одного нейрона с тождественной функцией активации. Выбор нелинейных функций активации можно объяснить тем, что процесс изменения координат во времени в общем случае носит нелинейный характер. Количество единичных задержек было выбрано равным 10. Общий вид нейронной сети представлен на рис.1.

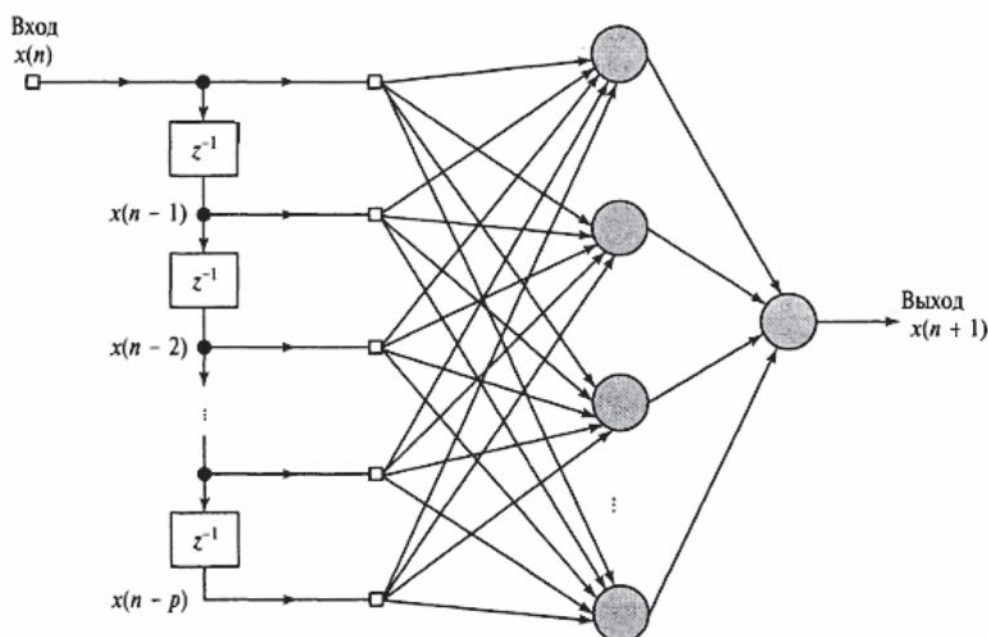


Рис. 1. Общий вид нейронной сети

В статье [1, с. 33–39] была предложена имитационная модель счисления пути судна в условиях воздействия внешних факторов. В ее основе лежит уравнение Рикатти, численное интегрирование которого позволяет найти скорость дрейфа конкретного судна в условиях воздействия ветра и волнения. Воспользуемся указанной моделью при формировании образцов для обучения синтезированной нейронной сети. В качестве параметров модели выберем параметры т/х «Инженер Плавинский» [1], массовое водоизмещение которого составляет 14 000 т.

Процесс обучения построим следующим образом. Накапливается множество образцов для обучения сети, после чего сеть обучается на данных образцах. Несмотря на то что некоторые исследования в области нейронных сетей [6; 8] позволили дать рекомендации относительно выбора числа образцов, необходимых для обучения сетей, мы ограничились числом 200. Увеличение числа образцов, с одной стороны, может повысить точность сети, но с другой — увеличить время обучения. Так как в дальнейшем предполагается использование алгоритма в режиме реального времени, то время обучения имеет существенное значение.

В качестве алгоритма обучения выбирается метод Левенберга–Марквардта [9, р. 164–168; 10, с. 431–441], реализующий идею градиентного спуска.

Время обучения ограничивается 100 с. Количество эпох и значение функции стоимости не ограничиваются. Для обучения используются все образцы из обучающей выборки, то есть отсутствуют образцы для проверки обобщающих свойств обученной сети.

Для прогноза траектории необходимо построить две одинаковые сети, одна из которых прогнозирует абсциссу места судна в локальной системе координат, а другая — ординату, причем обучаются и работают сети независимо друг от друга.

После обучения возникает необходимость проверки адекватности сети. Сравниваются две траектории: спрогнозированная нейронной сетью и полученная в результате использования имитационной модели. В качестве критерия расхождения траекторий выбирается наибольшее значение модуля невязки на интервале прогноза.

Для использования модели навигационного счисления необходимо задать характеристики внешних факторов, а также курс и скорость судна. Рассмотреть все возможные навигационные ситуации невозможно, поэтому приходится ограничиваться некоторыми средними условиями, которые могут наблюдаться в действительности. Причем желательно, чтобы при этом изменение координат судна во времени носило ярко выраженный нелинейный характер. Для моделирования движения судна использовались следующие значения величин, характеризующих внешние факторы. Курсовой угол относительного ветра предполагается равным 90° правого борта, а его скорость — 15 м/с. Высота волны считается равной 5 м, длина волны — 150 м, курсовой угол — 90° левого борта, кажущийся период — 15 с. Судно следует курсом 45° , а продольная составляющая его относительной скорости равна 15 узлов.

Построение, обучение, тестирование сетей производилось в среде MatLab 7.12.0.

Проверялась способность нейронных сетей прогнозировать координаты судна на 10 с вперед, если известны значения координат в текущий момент и предыдущие 200 значений. Начальная скорость дрейфа принимается равной нулю. Проверка происходит в течение 5 мин после накопления необходимого для обучения сетей количества образцов, то есть с 201-й с.

В результате исследования было получено, что нейронная сеть прогнозирует траекторию на 10 с вперед так, что среднее значение максимума модуля невязки на интервале прогноза составляет 0,1521 м. Таким образом, сеть прогнозирует траекторию судна с удовлетворительной для навигационных целей точностью.

Как известно, на обобщающие свойства сети оказывает существенное влияние число нейронов в скрытом слое. Построим нейронные сети, которые содержат 15 и 20 нейронов в скрытом слое. Как показали результаты проверки работоспособности данных сетей, наблюдается увеличение точности прогноза траектории судна. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты тестирования нейронных сетей, имеющих различное число нейронов

	Наибольшее значение модуля невязки на интервале 10 с, м		
	Наименьшее	Наибольшее	Среднее
10 нейронов	0,0013	3,8266	0,1521
15 нейронов	0,0004	1,9543	0,0641
20 нейронов	0,0007	0,9160	0,0569

Необходимо отметить, что в ходе обучения сетей, содержащих 10 и 15 нейронов в скрытом слое, наблюдались ситуации, в которых обучение не завершалось успешно (модуль невязки превосходил 10 м на интервале в 10 с). Возможно, это явление вызвано недостаточным количеством нейронов в скрытом слое или малым числом образцов обучающей выборки.

В проведенных экспериментах прослеживается увеличение точности прогноза траектории при увеличении числа нейронов в скрытом слое. Однако, изменяя это число, мы оставляем неизменным время обучения. Хотя для сетей с большим числом свободных параметров может потребоваться и большее время обучения для достижения более высокой точности.

Также было проведено исследование зависимости точности прогноза нейронной сети от длины обучающей выборки, то есть от числа образцов. Производилось обучение сети, имеющей

20 нейронов в скрытом слое, при различном количестве образцов. Так, длина обучающей выборки включала 250, 300 и 350 предыдущих значений координат. Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Как видно из данной таблицы, при увеличении количества образцов уменьшается средняя ошибка прогноза траектории. Однако, увеличивая число образцов для обучения, мы оставляли неизменным время обучения. Хотя при увеличении количества образцов для достижения большей точности может потребоваться большее время обучения.

Таблица 2

**Результаты тестирования нейронных сетей,
обученных с использованием различного количества образцов**

	Наибольшее значение модуля невязки на интервале 10 с, м		
	Наименьшее	Наибольшее	Среднее
200 образцов	0,0007	0,9160	0,0569
250 образцов	0,0007	0,4663	0,0295
300 образцов	0,0003	0,3127	0,0183
350 образцов	0,0002	0,2843	0,0165

Таким образом, увеличение числа нейронов в скрытом слое и числа образцов для обучения приводит к повышению точности прогнозирования координат места судна.

Предложенная модель прогнозирования координат места судна с использованием нейронных сетей позволяет прогнозировать координаты места судна в режиме реального времени на любое число шагов вперед, используя информацию о предшествующей траектории судна. Координаты судна могут быть получены с высокой точностью при помощи, например, спутниковых навигационных систем. То есть нейронная сеть может обучаться на образцах, получаемых в ходе натурных наблюдений.

Практическое применение данной модели может заключаться в ее использовании для выявления грубых ошибок в работе той или иной системы позиционирования. Кроме того, имеется возможность использования нейронной сети для прогноза (экстраполяции) траектории движения судна, когда по тем или иным причинам получить координаты от системы позиционирования не представляется возможным.

Синтезированная нейронная сеть может выступать также в роли *адаптивного фильтра*, если использовать не прогнозируемое на шаг вперед, а текущее значение координаты в качестве выхода фильтра. Число временных задержек есть порядок фильтра.

Особенность фильтра, основанного на нейронных технологиях, заключается в отсутствии ограничений, накладываемых на условия оптимальной фильтрации адаптивных алгоритмов, разработанных на основе теории вероятностей. Одним из таких условий для фильтра Калмана, например, является нормальный закон распределения вектора ошибок в уравнении состояния.

Было проведено следующее исследование. На интервале времени 10 мин были рассчитаны координаты движущегося судна с использованием имитационной модели. Затем к значениям координат были прибавлены случайные ошибки их определения, полученные при помощи генератора псевдослучайных чисел. Средняя квадратическая ошибка составляет 10 м. В одном случае погрешности координат имеют нормальный закон распределения, в другом — равномерный. Задача фильтрации решалась при помощи нейронной сети, имеющей 10 нейронов в скрытом слое и 10 единичных задержек входного сигнала, на основе последовательности из 100 предыдущих координат. Данная задача решалась также при помощи *адаптивного фильтра Калмана*, алгоритм которого реализован в среде MatLab 7.12.0. Результаты фильтрации представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты сравнения работы нейронной сети и фильтра Калмана при решении задачи фильтрации

		Среднее значение модуля невязки на интервале 10 мин		
		Ошибка шума, м	Ошибка фильтра, м	Уменьшение шума, %
Фильтр Калмана	нормальное	12,4	8,3	33
	равномерное	13,2	8,4	36
Нейронный фильтр	нормальное	12,4	8,0	36
	равномерное	13,2	7,9	40

Качество работы любого алгоритма фильтрации можно оценивать по наибольшему значению модуля невязки фильтра на интервале наблюдения. «Идеальный фильтр» — алгоритм, для которого величина данного критерия равна нулю. В следующей таблице приводятся результаты сравнения работы фильтра Калмана и нейронной сети по критерию наибольшей невязки.

Таблица 4

Сравнение работы нейронной сети и фильтра Калмана при решении задачи фильтрации

		Наибольшее значение модуля невязки на интервале 10 мин		
		Ошибка шума, м	Ошибка фильтра, м	Уменьшение шума, %
Фильтр Калмана	нормальное	35,8	24,3	32
	равномерное	23,2	22,6	3
Нейронный фильтр	нормальное	35,8	21,4	40
	равномерное	23,2	19,9	14

Таким образом, в проведенных исследованиях нейронная сеть демонстрирует несколько более точный прогноз координат по сравнению с фильтром Калмана. Так, в случае равномерного распределения погрешностей координат сеть уменьшает наибольшее значение невязки на 11 % больше, чем фильтр Калмана.

Ограничением в практическом применении нейросетевого алгоритма следует считать быстроедействие ЭВМ, его реализующей. Так, при дискретности модели в 1 с необходимо обучить две нейронные сети за время, не превосходящее 1 с.

Следует отметить, что при разработке нейронной сети остается нерешенной проблема оптимального выбора свободных параметров, числа единичных задержек и количества образцов для ее обучения. Данные параметры зависят от вида траектории движения судна, на которую, в свою очередь, оказывают влияние внешние факторы и физические параметры конкретного судна. В настоящее время выбор параметров сети и числа образцов возможен экспериментальным путем, в частности на основе моделирования движения конкретного судна в условиях воздействия определенных внешних факторов.

Другая проблема относится к процессу обучения. Во-первых, необходимо определиться с выбором алгоритма обучения, при котором скорость и точность обучения будут максимальными. Во-вторых, возникает вопрос о выборе значения функции стоимости, при котором обучение может быть остановлено, а также при котором можно сделать вывод о том, что обучение не состоялось.

Построенная модель применима для прогнозирования траектории движения любого судна, так как параметры нейронной сети не зависят от физических характеристик судна, а зависят только от вида его траектории. Другими словами, нейронная сеть представляет собой адаптивную систему по отношению к истории движения судна. То есть эта модель не учитывает внешние факторы в явном виде. Особый интерес может представлять нейронная сеть, преобразующая внешние факторы непосредственно в координаты судна. Обучение такой сети будет возможно на образцах, полученных в результате натурных наблюдений. Синтез указанной нейросетевой модели позволит, вероятно, прогнозировать координаты судна с более высокой точностью.

Необходимо отметить, что предлагаемая нейросетевая модель прогнозирования траектории движения может являться лишь составной частью регулятора для всей системы управления движением судна. Она позволяет только прогнозировать координаты места судна и осуществлять их сравнение с координатами, которые определены одним из известных традиционных методов (навигационное и инерциальное счисление или спутниковые навигационные системы). Второй составной частью регулятора всей системы управления движением судна должна быть нейросетевая модель выработки управляющих воздействий для удержания судна (возвращения) на заданной траектории. Между этими нейросетевыми моделями, конечно, существует связь, которая должна быть в последующем учтена при разработке и нейросетевой модели прогнозирования траектории движения судна. Возможно, целесообразно в дальнейшем приступить к формированию единой нейросетевой модели для системы управления движением судна по заданной траектории, приняв за регулируемые величины значения невязок, как по координатам, так и по времени.

Список литературы

1. Дерябин В. В. Модель счисления пути судна в условиях воздействия внешних факторов / В. В. Дерябин // Эксплуатация морского транспорта. — 2011. — № 1 (63).
2. Дерябин В. В. О возможности построения нейронной сети, прогнозирующей координаты судна / В. В. Дерябин // Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и курсантов: тез. докл. — СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2012. — Ч. 2.
3. Дерябин В. В. Построение модели счисления судна на основе нейронной сети / В. В. Дерябин // Эксплуатация морского транспорта. — 2010. — № 4 (62).
4. Дерябин В. В. Применение нейронной сети в модели счисления пути судна / В. В. Дерябин // Эксплуатация морского транспорта. — 2011. — № 3 (65).
5. Дерябин В. В. О возможности применения нейронной сети при построении модели счисления пути судна / В. В. Дерябин, А. Е. Сазонов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2010. — Вып. 33.
6. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей: пер. с англ. / Р. Каллан. — М.: Издат. дом «Вильямс», 2003. — 288 с.
7. Методы робастного нейронечеткого и адаптивного управления. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002.
8. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс: пер. с англ. / С. Хайкин. — М.: Издат. дом «Вильямс», 2006. — 1104 с.
9. Levenberg K. A Method for the Solution of Certain Problems in Least Squares / K. Levenberg // Quart. Appl. Math. — 1944. — Vol. 2.
10. Marquardt D. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters / D. Marquardt // SIAM J. Appl. Math. — 1963. — Vol. 11.

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ И МУРАВЬИНЫЙ АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ШЛЮЗОВ В СЕТИ НАВИГАЦИОННЫХ ЗНАКОВ

GENETIC AND ANT ALGORITHMS FOR GATEWAY LOCATION PROBLEM IN AIDS TO NAVIGATION NETWORK

Представлена реализация алгоритма муравьиной колонии и генетического алгоритма для решения задачи оптимального размещения шлюзов в сети навигационных знаков. Критерием оптимальности является энергетическая эффективность сети. Представлены результаты вычислительных экспериментов по работе рассматриваемых алгоритмов.

Abstract. Implementation of genetic algorithm and ant colony algorithm for gateway optimal location problem in aids to navigation network is proposed. Energy efficiency of network is an optimality criterion. Experimental results for considered algorithms are presented.

Ключевые слова: средства навигационного оборудования, система мониторинга, сенсорная сеть, популяция, хромосома, муравей, феромон.

Key words: aids to navigation, monitoring system, sensor network, population, chromosome, ant, pheromone.

СРЕДСТВА навигационного оборудования (СНО) являются важным элементом системы обеспечения безопасности судоходства. Организация удаленного мониторинга эксплуатационных параметров СНО позволяет своевременно обнаружить или предупредить выход из строя аппаратуры навигационных знаков. Для передачи данных от объектов СНО в центр мониторинга, как правило, применяется сотовая связь или технология AIS, реже — спутниковая связь. На данный момент широкое распространение получила технология сенсорных сетей (СС) на базе реактивного протокола маршрутизации Ad-hoc On-demand Distance Vector (AODV). Ключевыми достоинствами данной технологии являются:

— малое потребление энергии узлами сети за счет возможности применения ретрансляции сообщений, режим «сна» и отсутствие необходимости в постоянном поддержании таблиц маршрутизации в актуальном состоянии;

— устойчивость сети к изменениям топологии в результате удаления, добавления или перемещения узлов, которая достигается за счет возможности каждого узла самостоятельно решать задачу маршрутизации.

Детальное описание технологии СС и протокола AODV можно найти в [1]. В случае размещения центра мониторинга вне радиуса действия передатчиков СС появляется необходимость в дополнении сети шлюзами — устройствами, способными передавать данные на большие расстояния. Таким образом, совместное применение сенсорных сетей и шлюзов является перспективным направлением развития систем удаленного мониторинга СНО.

Энергетическая эффективность сети — это рациональное использование энергетического ресурса узлов, позволяющее увеличить время функционирования всей сети. При размещении шлюзов следует учитывать энергию, затрачиваемую каждым узлом на передачу собственных сообщений и ретрансляцию сообщений от других узлов. В соответствии с протоколом AODV данные передаются по кратчайшему маршруту. Например, на рис. 1, а изображена сеть, в которой при передаче сообщения узлом 8 на шлюз 5 задействован узел 9 в качестве ретранслятора данных. В случае существования нескольких кратчайших маршрутов от узла до нескольких шлюзов следует учитывать нагрузку на всех узлах-ретрансляторах каждого кратчайшего маршрута (рис. 1, б).

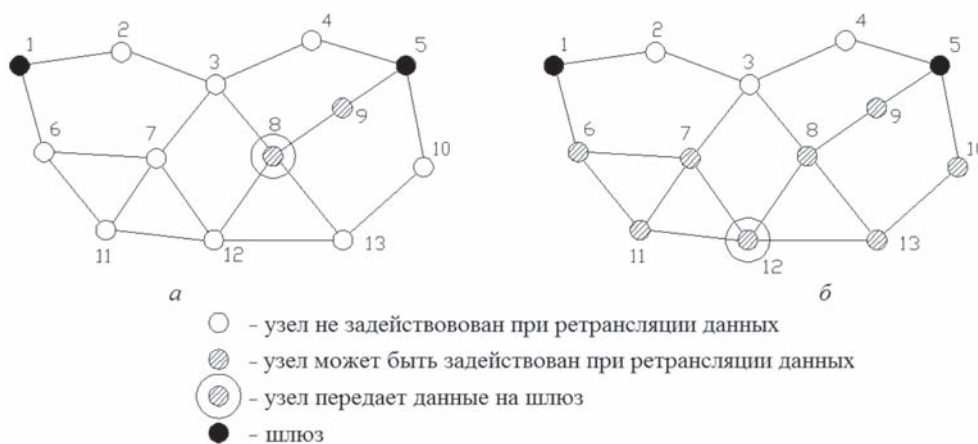


Рис. 1. Энергетическая нагрузка сети при передаче данных узлом.
 а — передача сообщения узлом 8; б — передача сообщения узлом 12

Вычисление максимального количества сообщений $tx_{\max}$, которое может передаваться узлом за один период сбора информации, приведено в работе [2]. Энергетическая эффективность сети будет достигаться, если для каждого узла сети u будет выполняться условие

$$tx_{\max} \geq n_{ret}(u) + 1, \quad (1)$$

где n_{ret} — количество узлов, для которых узел u является ретранслятором.

Таким образом, схема размещения шлюзов непосредственно оказывает влияние на энергетическую эффективность сети. Математическая модель задачи оптимального размещения шлюзов в терминологии целочисленного линейного программирования сформулирована в [2].

При ограничении пропускной способности узлов параметром $tx_{\max}$ каждым шлюзом может обслуживаться некоторое подмножество узлов сети. Предлагаемая формулировка позволяет установить соответствие между задачей оптимального размещения шлюзов и известной NP -полной задачи о минимальном покрытии [3]. Различие данных задач заключается в том, что расчетное подмножество узлов, обслуживаемое шлюзом, не является постоянной величиной и может изменяться. Тем не менее каждую схему размещения шлюзов можно проверить на соответствие требованию (1) за полиномиальное время.

Актуальность рассматриваемой темы исследования заключается в том, что существование точного алгоритма с полиномиальным временем работы для решения NP -полных задач маловероятно. Однако существуют эвристические алгоритмы, в число которых входят генетический и муравьиный алгоритмы, способные давать приближенные решения за приемлемое время для подобного рода задач. В современных исследованиях ведется активное изучение производительности эвристических алгоритмов в отношении многих труднорешаемых задач, однако автором не было найдено сведений об их применении для задачи, сформулированной в данной статье.

Представим сеть навигационных знаков в виде графа $G = (V, E)$, где V — множество вершин, характеризующее навигационные знаки ($|V| = n$ — количество вершин, определяемое порядком множества V), E — множество ребер графа, характеризующее наличие радиоканала между СНО. Наличие или отсутствие ребра между вершинами определяется радиусом действия передатчиков сенсорной сети. Обозначим множество шлюзов сети как $V_p \subset V$, $|V_p| = p$. Схему размещения шлюзов будем кодировать в виде n -мерного вектора бинарных элементов x . Каждый элемент вектора принимает значение 0, если вершина является узлом, или 1, если вершина является шлюзом. Минимизируемой целевой функцией рассматриваемой задачи является количество шлюзов в сети $f_{цф}(x) = p$. Для определения степени «перегруженности» узлов при заданном размещении шлюзов будем использовать функцию пригодности:

$$f_{\Phi\P}(x) = \sum_{u \in V'} n_{ret}(u) + 1 - tx_{\max}, \quad V' = \{u \in V / V_p \mid n_{ret}(u) + 1 > tx_{\max}\}. \quad (2)$$

В основе идеи генетического алгоритма (ГА) лежат механизмы эволюционной модели живых организмов, которые в результате естественного отбора приспособляются к окружающей среде. Вектор бинарных элементов $c_i \in C_t$, где $i = \{1 \dots |C_t|\}$, в соответствии с терминологией ГА будем называть хромосомой или особью, элементы вектора — генами, множество особей текущего поколения — популяцией. Далее приведена реализация генетического алгоритма для решения задачи размещения шлюзов:

Шаг 1. Инициализация параметров. Установить поколение $t \leftarrow 1$ и сформировать исходную популяцию C_t .

Шаг 2. Вычислить приспособленность текущего поколения t по значению $f_{\text{ЦФ}}(c_i)$ и $f_{\Phi\P}(c_i)$ $\forall c_i \in C_t$. Применить оператор скрещивания для получения популяции потомков: $C'_t \leftarrow \text{Cross}(C_t)$.

Шаг 3. Применить оператор мутации $\forall c_i \in C'_t$ с вероятностью q : $C'_t \leftarrow \text{Mut}(C'_t, q)$.

Шаг 4. Вычислить приспособленность популяции потомков по значению $f_{\text{ЦФ}}(c_i)$ и $f_{\Phi\P}(c_i)$ $\forall c_i \in C'_t$. Применить оператор рекомбинации: $C_{t+1} \leftarrow \text{Recomb}(C_t, C'_t)$.

Шаг 5. Если $\forall c_i \in C_{t+1}$, суммарные значения целевой функции и функции пригодности $f_{\Sigma}(c_i)$ равны, то вывод любого $c_i \in C_{t+1}$, для которого выполняется условие $f_{\Phi\P}(c_i) = 0$ и Конец. Иначе $t \leftarrow t + 1$ и переход на Шаг 2.

Рассмотрим данный алгоритм подробнее. Для формирования исходной популяции вычисляется значение минимально возможного количества шлюзов $p_{\min}$ в сети по формуле из [2]. Каждая хромосома исходной популяции создается путем случайного размещения $p_{\min}$ шлюзов в сети. Функция *Cross* обеспечивает создание хромосом потомков путем обмена генетического материала родительских хромосом. В данной реализации алгоритма для получения двух потомков используются две родительские хромосомы, а также применяется одноточечный оператор скрещивания, где точка разреза хромосом определяется случайным образом. Например, если для родительских хромосом $\{111111\}$, $\{000000\}$ определяем точку разреза между третьим и четвертым генами, то получаем следующих потомков: $\{111000\}$, $\{000111\}$. Выбор особей, участвующих в формировании потомства, производится с использованием модели «колеса рулетки», в которой каждой хромосоме выделяется сектор, по размеру пропорциональный значению ее приспособленности. Поскольку оценка хромосом производится по значениям $f_{\text{ЦФ}}(c_i)$ и $f_{\Phi\P}(c_i)$ при $i = \{1 \dots |C_t|\}$, целесообразно использовать отдельное «колесо рулетки» для каждой функции. Родитель 1 определяется по количеству шлюзов, а родитель 2 — по значению функции пригодности (2). Подобный подход обеспечивает разнообразие генетического материала при скрещивании, что уменьшает вероятность преждевременной сходимости алгоритма в локальных оптимумах. Функция *Mut* выполняет частичное преобразование хромосомы случайным образом с вероятностью q . В данном алгоритме происходит случайный выбор позиции гена, подвергаемого мутации, и инвертируется его значение. Также если для хромосомы i выполняется неравенство $f_{\text{ЦФ}}(c_i) < p_{\min}$, то происходит ее корректировка путем случайного добавления $[p_{\min} - f_{\text{ЦФ}}(c_i)]$ шлюзов. Функция *Recomb* выполняет формирование новой популяции из числа хромосом текущей популяции и хромосом потомков. В данном алгоритме применяется элитный отбор. Для каждой хромосомы из C_t и C'_t вычисляется суммарное значение $f_{\Sigma}(c_i) = f_{\text{ЦФ}}(c_i) + f_{\Phi\P}(c_i)$. В новое поколение $t + 1$ переходят $|C_t|$ хромосом с минимальным значением $f_{\Sigma}(c_i)$. Подобный подход позволяет сохранить заданный размер популяции и не потерять накопленный в процессе эволюции генетический материал в случае неудачного применения операторов скрещивания и мутации. В качестве критерия останова выбрано условие, при котором в поколении $t + 1$ все хромосомы имеют одинаковые значения $f_{\Sigma}(c_i)$, то есть алгоритм не может улучшить получаемые решения. Подробное описание генетических операторов и методики их применения можно найти в [4].

Концепция алгоритма муравьиной колонии (АМК) основана на поведении живых муравьев. При движении от гнезда к источнику пищи муравей выделяет специальное вещество — феромон.

Как правило, каждый муравей делает выбор в пользу пути, на котором концентрация феромона более высокая, чем на других возможных направлениях. Чем короче путь, тем больше муравьев успевают по этому пути пройти и соответственно оставить больше феромона. В результате со временем все муравьи начинают передвигаться по кратчайшему пути. Поиск оптимального размещения шлюзов построен на идее непрямого обмена информацией о количестве искусственного феромона на узлах между муравьями. «Путь», пройденный муравьем i , следует рассматривать как вектор бинарных элементов a_i , характеризующий схему размещения шлюзов в сети, где V_p^i — множество шлюзов, выбранных муравьем i , $|V_p^i| = p_i$. Далее приведена реализация АМК:

Шаг 1. Инициализация параметров. Установить счетчик итераций $t \leftarrow 1$ и исходное количество феромона на узлах $\tau_v(t) \leftarrow 1, \forall v \in V$. Каждый узел сети $v \in V$ сделать отправной точкой пути a_i для одного муравья i : $V_p^i \leftarrow \{v\}$. Для каждого муравья $i = \{1 \dots n\}$ установить количество шлюзов $p_i \leftarrow 1$.

Шаг 2. Для каждого муравья i , для пути которого выполняется условие $f_{\text{ФП}}(a_i) > 0$ или $p_i = 0$, выполнить один шаг на вершину $v \in V / V_p^i$: $a_i \leftarrow \text{AntStep}(a_i)$; $p_i \leftarrow p_i + 1$.

Шаг 3. Если остались муравьи, для которых выполняется неравенство $f_{\text{ФП}}(a_i) > 0$, то осуществить переход на Шаг 2. Иначе, обновить информацию о количестве феромонов на узлах: $\tau_v(t+1) \leftarrow \text{PherUpdate}(\tau_v(t)) \forall v \in V$.

Шаг 4. Если все значения p_i при $i = \{1 \dots n\}$ равны, то вывод лучшего значения a_p , полученного муравьями за все итерации, и Конец. Иначе, установить всех муравьев на исходные позиции $a_i \leftarrow 0$; $p_i \leftarrow 0$; $V_p^i \leftarrow \emptyset$ при $i = \{1 \dots n\}$, выполнить $t \leftarrow t + 1$ и перейти на Шаг 2.

Рассмотрим алгоритм более подробно. При инициализации переменных установка начального количества феромона $\tau_v(t)$ на узлах необходима для корректного выполнения функции AntStep при $t = 1$. Маршрут муравья считается пройденным, если выполняется условие $f_{\text{ФП}}(a_i) = 0$. Один шаг муравья выполняет функция AntStep , которая модифицирует вектор a_i преобразованием узла сети в шлюз. Вероятность преобразования q_v^i для каждого узла вычисляется по формуле

$$q_v^i = \frac{[\tau_v(t)]^\alpha \left[\frac{1}{f_{\text{ФП}}(a_{i,v}) + 1} \right]^\beta}{\sum_{u \in V / V_p^i} [\tau_u(t)]^\alpha \left[\frac{1}{f_{\text{ФП}}(a_{i,u}) + 1} \right]^\beta}, \quad v \in V / V_p^i, \quad (3)$$

где $f_{\text{ФП}}(a_{i,v})$ — функция пригодности для вектора a_i в случае выбора вершины v в качестве шлюза; α, β — константы, определяющие «вес» соответствующих параметров.

Для выбора преобразуемого узла применяется модель «колеса рулетки», где размеры секторов пропорциональны значениям q_v^i каждой вершины. После выбора узла v выполняются следующие операции: $f_{\text{ФП}}(a_i) \leftarrow f_{\text{ФП}}(a_{i,v})$; $V_p^i \leftarrow V_p^i \cup \{v\}$. Функция PherUpdate изменяет информацию о концентрации феромона на вершинах по формуле

$$\tau_v(t+1) = \psi \tau_v(t) + \sum_{i \in I_v} \frac{Q}{p_i}, \quad v \in V, \quad (4)$$

где I_v — множество муравьев i , для которых $v \in V_p^i$;

ψ — коэффициент испарения феромона;

Q — количество феромона, откладываемого муравьем при прохождении одного пути от начала до конца.

В процессе выполнения алгоритма узлы, на которых количество феромона близко к нулю, с наименьшей вероятностью будут включены в путь муравьев. Со временем всем муравьям будет требоваться одинаковое количество шагов по наиболее обогащенным феромоном узлам для прохождения своего маршрута, что будет сигнализировать о схождении алгоритма. Данное условие выбрано в качестве критерия останова. Различные варианты модификаций алгоритма можно найти в [5].

Для проведения вычислительного эксперимента была разработана программа в среде Borland C++ Builder 6. Эксперимент проводился на ПК с процессором Intel Atom с тактовой частотой 1,67 ГГц. Серия запусков алгоритмов проводилась на связных графах, сгенерированных случайным образом. Также был разработан точный алгоритм на основе метода последовательного перебора (ПП), который вычисляет $f_{\text{ФП}}(x)$ для всех возможных вариантов размещения p шлюзов, начиная с $p = 2$. Инкремент значения p выполняется до тех пор, пока не найдется вариант с $f_{\text{ФП}}(x) = 0$. Для каждого значения параметров n и tx_{max} было выполнено 100 запусков ГА и АМК. В табл. 1 приведено минимальное время t_{min} , потраченное каждым алгоритмом на получение оптимального решения по значению $f_{\text{ЦФ}}(x)$, а также $\epsilon_{\text{опт}}$ — доля оптимальных из общего числа решений, полученных алгоритмом.

Ключевым достоинством ГА по сравнению с АМК можно назвать более высокую скорость получения решений. Однако в большинстве случаев АМК вырабатывает больше оптимальных решений, о чем свидетельствуют значения $\epsilon_{\text{опт}}$ алгоритмов. С ростом количества узлов в сети общая скорость получения решений в АМК падает быстрее, чем в ГА. Подобное явление можно объяснить тем, что для модификации значения $f_{\text{ФП}}(a_i)$ на одном шаге одного муравья требуется выполнить $n - p_i$ вычислений значения $f_{\text{ФП}}(a_{i,v})$, то есть трудоемкость каждого шага муравья растет пропорционально значению n . В генетическом алгоритме для модификации $f_{\text{ФП}}(c_i)$ требуется выполнить два вычисления $f_{\text{ФП}}(c_i)$: для хромосомы текущей популяции C_t и хромосомы потомка из C'_t .

Таблица 1

Результаты вычислительного эксперимента для ГА и АМК

n	tx_{max}	$f_{\text{ЦФ}}(x)$, усл. ед.	ПП	ГА		АМК	
			t_{min} , с	$\epsilon_{\text{опт}}$, %	t_{min} , с	$\epsilon_{\text{опт}}$, %	t_{min} , с
40	2	7	2481,165	33	0,593	34	8,424
40	3	6	106,268	97	0,765	99	5,179
40	4	4	1,279	100	0,468	99	1,903
60	3	7	12292,630	40	1,575	52	34,008
60	4	5	489,266	15	1,467	12	27,565
60	5	4	7,941	47	0,780	73	13,603
80	5	5	1820,142	16	1,388	38	52,573
80	6	4	181,538	28	2,012	64	43,945
80	7	4	45,911	69	1,591	94	34,804
100	10	5	1823,574	76	2,355	99	109,123
100	11	4	325,184	25	2,481	38	110,027
100	12	4	70,825	59	2,325	100	72,119

Помимо способов реализации генетических операторов, на производительность ГА влияют такие параметры, как вероятность мутации q и размер популяции $|C_t|$. Высокая вероятность мутации может не позволить «сильным» хромосомам занять доминирующее положение в популяции, и алгоритм может не сойтись, а низкая вероятность приведет к сокращению проверяемой области пространства решений и преждевременной сходимости алгоритма. Большой размер популяции снижает общую скорость работы алгоритма, а малый размер сокращает проверяемую область пространства решений. Результаты экспериментов получены при следующих значениях параметров: $q = 0,6$; $|C_t| = 150$.

В алгоритме муравьиной колонии значения параметров α , β , Q , ψ подбираются экспериментальным путем, что является одним из недостатков алгоритма. При $\alpha = 0$ алгоритм становится

«жадным», а при $\beta = 0$ муравьи начинают перемещаться «вслепую». Высокая скорость испарения и малый объем откладываемого муравьями феромона приводят к потере решений, найденных колонией. Низкая скорость испарения и большой объем откладываемого муравьями феромона приводят к преждевременной сходимости алгоритма в локальных оптимумах. Таким образом, крайне важно найти баланс между данными параметрами. Результаты экспериментов получены при следующих значениях параметров: $\alpha = 2$; $\beta = 1$; $Q = 2$; $\psi = 0,6$.

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы. Разработанные алгоритмы позволяют получать оптимальные решения задачи размещения шлюзов за приемлемое время, что свидетельствует о перспективности их изучения и применения. Также определены значения параметров алгоритмов, прямым образом влияющих на их производительность в данной реализации. Применение разработанных алгоритмов позволит рационализировать расход энергетического ресурса каждого навигационного знака в сети и, следовательно, повысить эффективность использования технологии сенсорных сетей в системах мониторинга СНО. Представленная работа ограничена рассмотрением лишь основных принципов ГА и АМК. В дальнейшем предстоит изучение влияния различных эволюционных моделей и модификаций генетических операторов на производительность ГА. Также следует рассмотреть влияние на производительность АМК различных дополнительных механизмов поиска, например элитарной или ранговой системы муравьев.

Список литературы

1. *Dargie W. Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice* / W. Dargie, C. Poellabauer. — Singapore: Markono, 2010. — 311 p.
2. *Шейкин Т. Ю.* Применение технологии сенсорных сетей в системе мониторинга судового навигационного оборудования / Т. Ю. Шейкин // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2013. — Вып. 3 (19).
3. *Гэри М.* Вычислительные машины и труднорешаемые задачи / М. Гэри, Д. Джонсон. — М.: Мир, 1982. — 416 с.
4. *Гладков Л. А.* Генетические алгоритмы / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик; под ред. В. М. Курейчика. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Физматлит, 2006. — 320 с.
5. *Dorigo M. Ant Colony Optimization* / M. Dorigo, T. Stutzle; Massachusetts Institute of Technology, 2004. — 321 p.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СЦЕНАРИЕВ ДВИЖЕНИЯ СУДНА ПО СТВОРУ

APPLICATION OF CATASTROPHE THEORY FOR CLASSIFICATION OF SCENARIOS FOR SHIP PASSING ALONG THE LEADING LINE

Рассматривается возможность применения катастрофы сборки для моделирования навигационных ситуаций и их сценариев. Анализируется применение математической модели катастрофы сборки для плавания судна по створу.

This article considers the possibility of application of cusp catastrophe to model navigational situations and their scenarios. An application of cusp catastrophe as a mathematical model for ship passing along the leading line is analyzed.

Ключевые слова: навигационная безопасность, опасные ситуации, теория катастроф, катастрофа сборки, моделирование навигационных ситуаций.

Key words: safety of navigation, dangerous situations, catastrophe theory, cusp catastrophe, navigational situations modeling.

1. Введение.

Обеспечение навигационной безопасности является важнейшей задачей судоходной индустрии, в частности мореплавания. Несмотря на внедрение современной техники и информационных технологий, количество навигационных аварий остается на высоком уровне, что требует поиска и исследования новых подходов к их предотвращению, одним из которых, несомненно, является эффективный анализ потенциально опасных навигационных ситуаций, которые являются предшественниками аварий.

Для обеспечения безопасности необходимо знать и уметь анализировать не только причины самих аварий, но и, что очень важно, причины и сценарии возникновения и развития потенциально опасных ситуаций. Для этого целесообразно использовать наглядные, понятные и непротиворечивые инструменты их классификации и моделирования. Одним из таких инструментов может быть метод, основанный на прикладной теории катастроф [6], который позволяет изобразить графически множество навигационных ситуаций и сценариев их возникновения. В статье исследуется катастрофа сборки как модель, описывающая состояния системы «судно–створ», (СС-система), хотя исследуемый подход может быть применен к любой системе, если отклонение от правила, определяющего безопасное поведение, в ней можно измерить [3, с. 399–402].

2. Теория катастроф.

Под катастрофой здесь в соответствии с теорией понимается внезапное изменение состояния системы при малом изменении ее управляющих параметров [1; 4–6]. Такое изменение состояния системы возможно лишь тогда, когда она находится в точке неустойчивого равновесия. Введем в качестве характеристики СС-системы горизонтальный угол χ , под которым при движении по линии створа с судна видны створные знаки. Интуитивно понятно, что вследствие действия внешних сил судно будет уходить с линии створа ($\chi \neq 0$) и для приведения его обратно на створ ($\chi = 0$) необходимо управлять его вектором скорости.

С точностью до чувствительности створа, включающей разрешающую способность глаза наблюдателя, состояние СС-системы при $x = 0$ является неустойчивым. Если же $x \neq 0$, то такое состояние системы устойчиво. Если говорить более абстрактно, то СС-система может находиться в состоянии устойчивого или неустойчивого равновесия, которые можно описать с помощью потенциальной функции.

3. Математическая модель. Описание.

Известно, что в общем случае для удержания судна на линии створа необходимо управлять вектором его собственной скорости для компенсации вектора внешних возмущений от влияния гидрометеорологических факторов, который смещает судно с линии створа. Следует отметить, что в соответствии с принципом минимума потенциальной энергии СС-система всегда будет стремиться к состоянию устойчивого равновесия,

которое обуславливает опасную навигационную ситуацию (рис. 1).

Такая система может быть представлена с помощью катастрофы сборки, потенциальная функция которой определяется следующим каноническим выражением [5]:

$$V_{ab}(x) = \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}ax^2 + bx. \quad (1)$$

Здесь a и b — соответственно модули вектора собственной скорости судна и вектора внешних воздействий.

Для заданной пары (a, b) критические точки функции (1) определяются из условия

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}ax^2 + bx \right) = x^3 + ax + b = 0. \quad (2)$$

Природа корней уравнения (2) зависит от значений a и b , а именно от дискриминанта рассматриваемого кубического уравнения:

$$D = 4a^3 + 27b^2.$$

Это означает, что природа корней, а значит, и равновесие системы зависят от положения судна на плоскости (a, b) по отношению к кривой (3), определяемой в координатах (a, b) и называемой бифуркационной кривой (на рис. 2, a выделена жирной линией) [7].

$$4a^3 + 27b^2 = 0. \quad (3)$$

Обозначим плоскость (a, b) через C и разделим ее на пять областей: заштрихованную область I «внутри» бифуркационной кривой, область E «вне» ее, две ветви B_1 и B_2 бифуркационной кривой и начало координат — точка P . Точки (a, b) , лежащие в I , характеризуются условием $4a^3 + 27b^2 < 0$, а точки, лежащие в E , — условием $4a^3 + 27b^2 > 0$ (рис. 2, a).

Соответствующие потенциальные функции (1) показаны на рис. 2, b . Мы видим, что V_{ab} имеет один минимум, если $(a, b) \in E$, два минимума и между ними максимум, если $(a, b) \in I$, один минимум и одну точку перегиба для $(a, b) \in B_1$ или B_2 (слева для B_1 и справа для B_2 соответственно) и один минимум в начале координат, то есть в точке P .

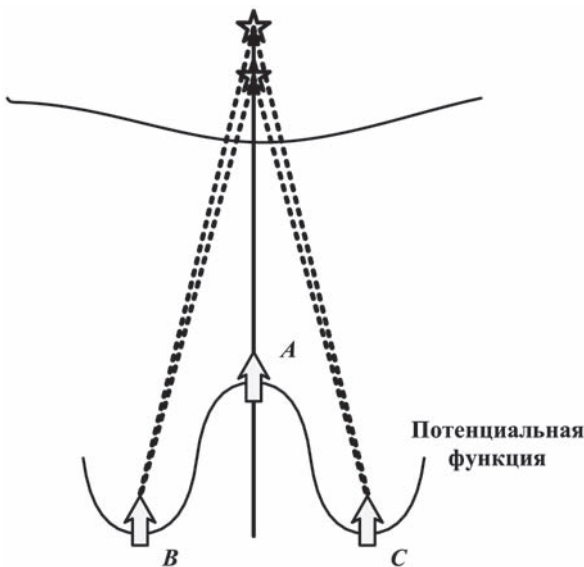


Рис. 1. Состояния равновесия СС-системы при движении судна по створу:
А — неустойчивое,
В, С — устойчивые равновесия

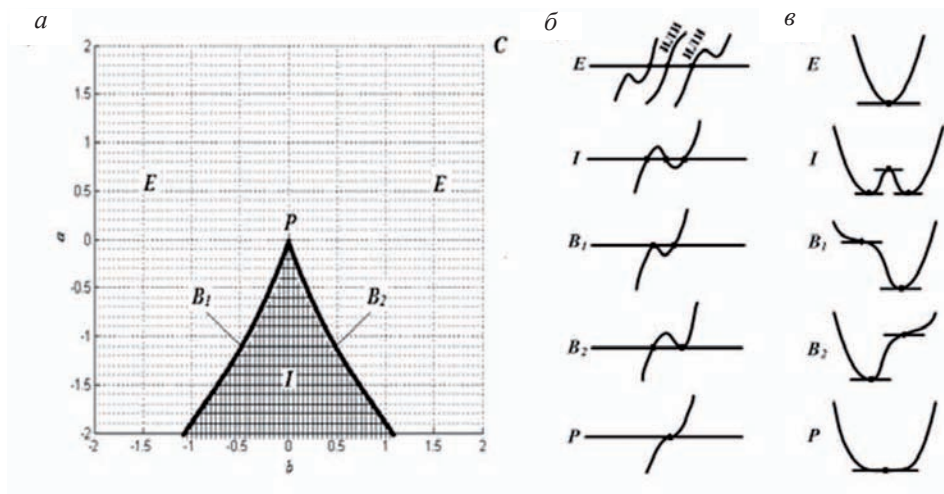


Рис. 2. а — бифуркационная кривая и бифуркационное множество;
б — кривые $x^3 + ax + b = 0$; в — кривые $V_{ab}(x) = 1/4x^4 + 1/2ax^2 + bx$

С точки зрения динамики минимумы потенциальной функции отвечают устойчивым равновесиям системы, а максимумы или точки перегиба — неустойчивым.

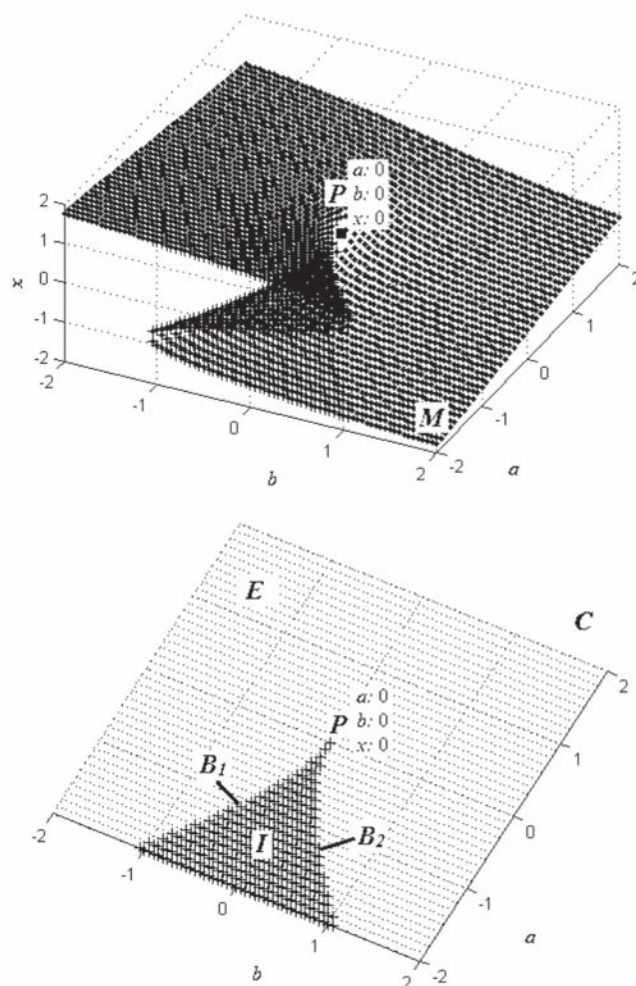


Рис. 3. Многообразие катастрофы
и бифуркационное множество

Это довольно сложное поведение потенциальной функции можно охватить единой геометрической картинкой, нарисовав многообразие катастрофы сборки M или поверхность равновесия в пространстве xab . Это множество точек (x, a, b) , удовлетворяющих уравнению (2). Оно имеет вид поверхности со сборкой в точке P и показано на рис. 3.

Теперь возможно дать геометрическую интерпретацию положений равновесия СС-системы. Для данной пары значений параметров (a, b) все положения равновесия определяются значением корней уравнения (2).

Если состояние системы описывается точкой $(a, b) \in E$, то она находится в устойчивом состоянии (рис. 2); если $(a, b) \in I$, то между двумя устойчивыми есть неустойчивое состояние; если $(a, b) \in B_1, B_2$, то система находится в устойчивом и неустойчивом состоянии, и если $(a, b) \in P$, то состояние системы устойчиво.

Теперь, после проведенного выше анализа и геометрического описания, можно следующим образом рассмотреть изменение положения равновесия с изменением (a, b) , то есть построить модель поведения судна в СС-системе, что и является конечной целью исследования.

4. Математическая модель-интерпретация.

Пусть СС-система описывается множеством параметров (x, a, b) и движение судна относительно створной линии интерпретируется как изменение параметров этой системы на некоторой траектории, расположенной на поверхности равновесия M или на ее проекции в пространстве управления C .

Положение точки (a, b) внутри бифуркационной кривой (область I) характеризует некоторый колебательный процесс удержания судна на створной линии с помощью управления вектором собственной скорости, компенсирующего воздействие внешнего возмущения. Причем если точка (a, b) лежит на оси a , то эти колебания симметричны относительно оси створа и положение судна можно считать безопасным при условии, что отклонения от створной линии находятся в пределах судового хода створа. Приближение точек (a, b) к бифуркационным кривым вызывает изменение характера колебаний — увеличивается отклонение от оси створа в одну сторону и соответственно уменьшается в другую. Появление асимметрии в траектории движения судна относительно створной линии является предвестником потенциально опасной ситуации.

Удаление от точки P внутри области I вызывает увеличение амплитуды колебаний траектории (например, по причине низкой квалификации рулевого), что так же может быть причиной создания потенциально опасной ситуации, хотя «в среднем» в заданный интервал времени t судно следует по створу.

Если положение судна характеризуется параметрами (a, b) в области E , это означает, что судно не находилось на линии створа. Навигационная ситуация может быть квалифицирована как устойчиво опасная, то есть судно не удалось выйти на створную линию в заданный интервал времени t .

Если точка (a, b) совпадает с началом координатной системы P (точка сборки), это описывает лишь теоретически возможную навигационную ситуацию, когда судно не на ходу и при отсутствии внешних возмущений находится на линии створа. Состояние СС-системы теоретически устойчиво, так как $a = b = 0$.

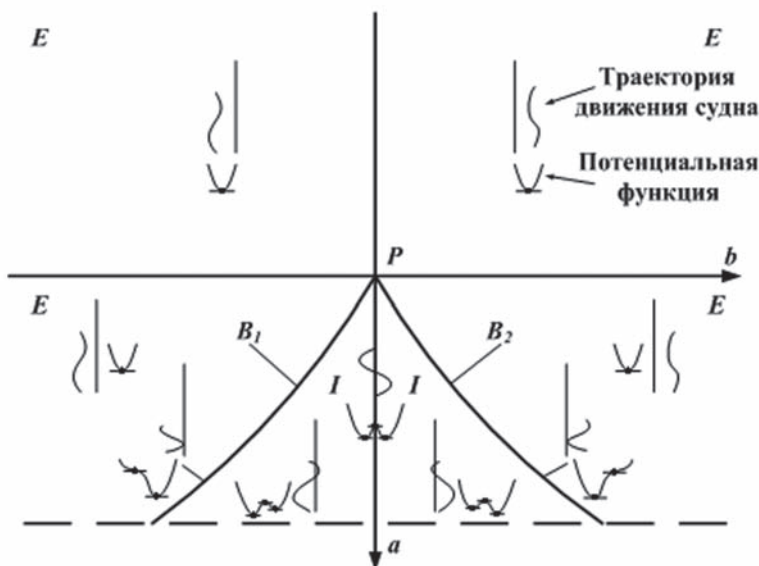


Рис. 4. Модель поведения судна в СС-системе

Если точка (a, b) лежит на бифуркационной кривой, это означает, что колебания таковы, что судно выходит на ось створа и вновь отклоняется в ту же сторону, не пересекая створную линию. Это предел асимметричности траектории движения судна относительно линии створа и характеризуется появлением неустойчивого состояния СС-системы в виде точки перегиба потенциальной функции вместо ее максимума. Другими словами, переход от максимума потенциальной функции к точке перегиба характеризует снижение уровня навигационной безопасности в связи с зарождением тенденции неуправляемого сноса с линии створа, что может

привести к выводу положения судна из зоны I в устойчиво опасную зону E (рис. 4).

На рис. 4 изображены траектории движения судна относительно створной линии, а также потенциальные функции поведения СС-системы.

К тому же следует отметить, что отстояние от точки P , что то же самое амплитуда колебаний траектории движения судна, определяется шириной судового хода.

5. Выводы.

Катастрофа сборки как модель, описывающая состояния системы «судно–створ», позволяет изобразить графически все множество возможных навигационных ситуаций, связанных с движением судна по створу, и сценариев их возникновения и развития. Развитие ситуации может быть определено траекторией состояний системы на многообразии катастрофы сборки либо на плоскости управляющих параметров.

Появление асимметрии в траектории движения судна в пространстве управляющих параметров является сигналом к снижению уровня безопасности, то есть к переходу системы в другое состояние (опасную область).

Исследуемый подход может быть применен к любой системе, если отклонение от правила, определяющего безопасное поведение в ней, можно измерить (линейное отклонение от оси фарватера, ракурс встречного судна, динамика фигуры погрешностей при определении места судна и т. д.).

Список литературы

1. Арнольд В. И. Теория катастроф / В. И. Арнольд. — 2-е изд., доп. — М.: Изд-во МГУ, 1983. — 80 с.
2. Морозов В. К. Моделирование информационных и динамических систем / В. К. Морозов, Г. Н. Рогачев. — М.: Академия, 2011. — 384 с.
3. Острейковский В. А. Прогнозирование техногенного риска динамических систем методами теории катастроф / В. А. Острейковский, С. П. Саакян, Я. В. Силин // Фундаментальные исследования. — № 3. — 2012.
4. Gilmore R. Catastrophe Theory for Scientists and Engineers / R. Gilmore. — N. Y.: Dover, 1993. — 666 p.
5. Poston T. Catastrophe Theory and Its Applications / T. Poston, I. Stewart. Dover Books on Mathematics. — N. Y.: Dover Publications, 2012. — 512 p.
6. Thom R. Structural Stability and Morphogenesis: An Outline of a General Theory of Models / Thom R. — 2nd ed. — Addison-Wesley, 1989. — 384 p.
7. Wilson A. Catastrophe Theory and Bifurcation (Routledge Revivals) / A. Wilson // Applications to Urban and Regional Systems. — Routledge, 2012. — 354 p. — Repr. ed.

УДК 629.5.014

Е. М. Грамузов,
д-р техн. наук, профессор,
Нижегородский государственный технический
университет им. Р. Е. Алексеева;

В. К. Май,
аспирант,
Нижегородский государственный технический
университет им. Р. Е. Алексеева

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СПАСАТЕЛЬНОГО СУДНА МЕТОДОМ СОВМЕСТНОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ТЕОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

DETERMINATING THE MAIN CHARACTERISTICS OF RESCUE SHIP BY METHOD OF COOPERATIVE SOLUTION OF SHIP DESIGN THEORY EQUATIONS

Спасательные суда играют значительную роль в обеспечении безопасности мореплавания. Определение их оптимальных основных характеристик является важной стадией при проектировании спасательного судна. Данная задача может решаться на основе совместного решения аналитических уравнений теории проектирования судов.

Rescue ships play an important role in ensuring safety of navigation. The definition of their optimal main characteristics is an important step in the rescue ship design. This task can be solved on the basis of a cooperative solution of the ship design theory equations.

Ключевые слова: оптимизация, основные характеристики, спасательное судно, совместное решение, теория проектирования судов.

Key words: optimization, main characteristics, rescue ship, cooperative solution, theory of ship design.

ЗАДАЧА оптимизации пополнения спасательного флота и характеристик спасательных судов может быть разделена на два этапа. Первый этап включает прогнозирование развития спасательных судов различных типов, установление потребности в них, а также предварительное определение элементов судна, необходимое для принятия решений о комплектации основными механизмами и оборудованием, и других подсистем. В работе [7] сформулирована наиболее полная и универсальная постановка задачи обеспечения безопасности на море с помощью спасательного флота соответствующего региона. А в работе [9, с. 34–45] предложен алгоритм решения задачи оптимизации характеристик спасательных судов и пополнения спасательного флота Вьетнама. Известно, что в результате первого этапа задачи определяется техническое задание на проектирование спасательного судна. Рассмотрим второй этап задачи — уточнение основных характеристик спасательных судов.

Данный этап задачи может быть реализован на основе совместного решения аналитических уравнений теории проектирования судов: уравнение плавучести, уравнение нагрузки, уравнение ходкости, уравнение остойчивости, уравнение вместимости; а также дополнительных требований к проектированию спасательных судов по регламентам и правилам.

Математическая модель спасательного судна, позволяющая оптимизировать основные проектные характеристики на ранних стадиях проектирования, включает [8, с. 195–200]:

— $\vec{C} (c_1, c_2, \dots, c_n)$ — вектор параметров технического задания на проектирование спасательного судна (класс судна, район плавания, автономность, число членов экипажа, требования к ходкости и т. д.);

— $\bar{X} (x_1, x_2, \dots, x_n)$ — вектор искомых характеристик (главные размерения, водоизмещение, мощность энергетической установки, форма корпуса, характеризующая коэффициентами формы);

— систему ограничений $G_j(\bar{X}, \bar{C}) \geq A_j, j = 1, \dots, m$, включающую аналитические уравнения проектирования спасательного судна (уравнение масс, уравнение плавучести, уравнение остойчивости, уравнение вместимости, уравнение ходкости);

— ограничения на компоненты вектора искомых характеристик $x_i^{\min} \leq x_i^{\max}$ (осадка, ширина корпуса и т. д.);

— целевую функцию $Z(\bar{X}, \bar{C})$.

1. Уравнения проектирования спасательного судна.

Уравнение плавучести запишем в виде равенства [1]:

$$\rho_{\text{в}} \delta L B T, \quad (1)$$

где ρ — плотности морской воды; $k_{\text{в}}$ — коэффициент выступающих частей; δ — коэффициент общей полноты судна; L, B, T — расчетная длина, ширина и осадка проектируемого судна, м.

Уравнение нагрузки.

Водоизмещение судна D , т, включает в себя водоизмещение порожнего судна $D_{\text{пор}}$, т, и дедвейт DW , т:

$$D = D_{\text{пор}} + DW. \quad (2)$$

Водоизмещение судна порожнем разбивается на укрупненные статьи нагрузки и записывается в виде:

$$D_{\text{пор}} = D_{\text{к}} + P_{\text{у}} + P_{\text{сс}} + P_{\text{м}} + P_{\text{эл}} + P_{\text{в}} + P_{\text{з}} + P_{\text{пос.груз}} + P_{\text{сн}} + P_{\text{зв}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{к}}$ — масса корпуса; $P_{\text{у}}$ — масса судового устройства; $P_{\text{сс}}$ — масса судовых систем; $P_{\text{м}}$ — масса энергетической установки; $P_{\text{эл}}$ — масса электроэнергетической системы, внутрисудовой связи и управления; $P_{\text{в}}$ — масса вооружения; $P_{\text{з}}$ — масса запасных частей; $P_{\text{пос.груз}}$ — масса постоянных жидких грузов; $P_{\text{сн}}$ — масса снабжения, имущества; $P_{\text{зв}}$ — запас водоизмещения.

Вышеперечисленные статьи нагрузки водоизмещения судна порожнем могут быть определены по следующим формулам:

$$P_{\text{к}} = p_{\text{к}} L B N, \quad P \quad (4)$$

$$P_{\text{м}} = p_{\text{м}} N_e, \quad P \quad (5)$$

$$P_{\text{зв}} = p_{\text{зв}} D_{\text{пор}}, \quad P \quad (6)$$

где $p_{\text{к}}, p_{\text{м}}, p_{\text{зв}}$ — измерители массы статей нагрузки спасательного судна, определенные по прототипу или анализу статических данных.

Таким образом, получим

$$D_{\text{пор}} = (p_{\text{к}} + p_{\text{у}} + p_{\text{сс}} + p_{\text{эл}} + p_{\text{в}} + p_{\text{з}} + p_{\text{пос.груз}} + p_{\text{сн}}) L B N + p_{\text{м}} N_e + p_{\text{зв}} D_{\text{пор}} \quad (7)$$

или

$$D_{\text{пор}} = p_{\text{к}} L B N + p_{\text{м}} N_e + p_{\text{зв}} D_{\text{пор}} \quad (8)$$

$$D_{\text{пор}} = \frac{p_{\text{к}} L B N + p_{\text{м}} N_e}{1 - p_{\text{зв}}}. \quad (9)$$

Дедвейт DW спасательного судна разделяется на следующие статьи:

$$DW = P_{\text{эк}} + P_{\text{т}} + P_{\text{жг}} + P_{\text{б}}, \quad (10)$$

где $P_{\text{эк}}$ — масса экипажа, провизии, воды, расходных материалов; $P_{\text{т}}$ — запас топлива, масла, воды; $P_{\text{жг}}$ — масса переменных жидких грузов; $P_{\text{б}}$ — масса жидкого балласта.

Масса экипажа, провизии, воды, расходных материалов $P_{эк}$:

$$P_{эк} = m_{э} n_{э} + p_{пр} n_{э} A + p_{в} n_{э} A + p_{отбр} n_{э} A = n_{э} A \left(\frac{m_{э}}{A} + p_{пр} + p_{в} + p_{отбр} \right). \quad (11)$$

Запас топлива, масла, воды P_t :

$$P_t = p_t k_1 k_2 N_t, \quad (12)$$

где p_t — удельный расход топлива, $\frac{т}{кВт \cdot ч}$; k_1 — коэффициент морского запаса; k_2 — коэффициент, учитывающий увеличение расхода топлива на работы вспомогательных механизмов, на запасы смазки и питательной воды, на стояночные режимы; t — автономность судна, ч.

Масса переменных жидких грузов $P_{жг}$:

$$P_{жг} = P_{зг} + P_{зп} = P_{зг} + p_{зп} n_{э} A, \quad (13)$$

где $P_{зг}$ — масса запасных грузов для передачи аварийным судам, т; $P_{зп}$ — масса загрязненных и подсланевых вод, т; $p_{зп}$ — масса загрязненных и подсланевых вод на одного человека в сутки, $\frac{т}{чел \cdot сут}$.

Масса жидкого балласта P_6 :

$$P_6 = p_6 DW. \quad (14)$$

Таким образом, получим

$$DW = n_{э} A \left(\frac{m_{э}}{A} + p_{пр} + p_{в} + p_{отбр} \right) + p_t k_1 k_2 N_e 24A + P_{зг} + p_{зп} n_{э} A + p_6 DW \quad (15)$$

или

$$DW = \frac{n_{э} A \left(\frac{m_{э}}{A} + p_{пр} + p_{в} + p_{отбр} \right) + p_t k_1 k_2 N_e 24A + P_{зг} + p_{зп} n_{э} A}{1 - p_6}. \quad (16)$$

Уравнение нагрузки в общем виде:

$$D = \frac{p_{ко} LBH + p_m N_e}{1 - p_{зв}} + \frac{n_{э} A \left(\frac{m_{э}}{A} + p_{пр} + p_{в} + p_{отбр} \right) + p_t k_1 k_2 N_e 24A + P_{зг} + p_{зп} n_{э} A}{1 - p_6}. \quad (17)$$

Уравнение ходкости.

Полное сопротивление движению судна может быть приближенно рассчитано по формуле

$$R = R_{тр} + R_{ост}, \quad (18)$$

где $R_{тр}$ — сопротивление трения; $R_{ост}$ — остаточное сопротивление.

Сопротивление трения можно определить с помощью следующего выражения [5]:

$$R_{тр} = (\xi_{тп} + \xi_{ш} + \xi_{вч}) \frac{\rho v^2}{2} \Omega, \quad (19)$$

где $\xi_{тп}$ — коэффициент трения эквивалентной гладкой пластины; $\xi_{ш}$ — надбавка на шероховатость; $\xi_{вч}$ — надбавка на выступающие части; Ω — смоченная поверхность корпуса судна, м²; v — скорость судна, м/с.

Остаточное сопротивление может быть определено с помощью графика, приведенного в [3]. На этом графике аргументом служит число Фруда Fr , а функцией — отношение остаточного сопротивления к водоизмещению судна D . График можно аппроксимировать следующей зависимостью [5; 10, с. 100–104]:

$$R_{\text{ост}} = 36,2e^{16Fr} D. \quad (20)$$

Полезная мощность определяется по формуле

$$P_E = R \cdot v. \quad (21)$$

Мощность главной ЭУ судна определяется по формуле

$$P_S = \frac{P_E}{\eta_S \eta_D}, \quad (22)$$

где η_S — КПД передачи мощности; η_D — пропульсивный коэффициент.

Уравнение остойчивости.

В начальных стадиях проектирования, когда известны основные элементы судна, но еще нет теоретического чертежа, записывается уравнение остойчивости в виде, принятом в теории проектирования судов [1; 5]:

$$h = \frac{\alpha^2}{11,4\delta} \frac{B^2}{T} + 0,5 \left(\frac{\alpha}{\delta} \right)^{0,5} T - z_g, \quad (23)$$

где h — абсолютная метацентрическая высота судна, м; B, T — главные размерения судна, м; α — коэффициент полноты площади ГВЛ; δ — коэффициент общей полноты судна.

По рекомендации работы [3] отстояние ЦТ судна от основной линии у спасательных судов при водоизмещении порожнем составляет $0,70 \div 0,90$ высоты борта, а при полном водоизмещении — $0,60 \div 0,80$.

Коэффициент полноты площади ватерлинии спасательных судов может быть выражен по несколько откорректированной зависимости Munro–Smith [3]:

$$\alpha = \delta + (0,20 \div 0,22). \quad (24)$$

Остойчивость буксиров должна проверяться при двух вариантах нагрузки: судно с полными запасами и судно с 10 % запасов [2]. Для этого вышенайденная метацентрическая высота судна h корректируется на величину δh , м [5]:

$$\delta h = - \frac{P_{\text{изм}}}{D + P_{\text{изм}}} \left(T + \frac{\delta T}{2} - h - z_p \right), \quad (25)$$

где $P_{\text{изм}}$ — масса израсходованных запасов; $\delta T = \frac{P_{\text{изм}}}{1,025 \cdot \alpha \cdot L \cdot B}$ — изменение осадки при уменьшении количества запасов (топлива, масла, воды, провизии), м; z_p — аппликата центра массы израсходованных запасов, м.

Тогда значение метацентрической высоты для случая загрузки 100 % груза и 10 % запасов будет рассчитываться по формуле, м:

$$h_1 = h + \delta h = \frac{\alpha^2}{11,4\delta} \frac{B^2}{T} + 0,5 \left(\frac{\alpha}{\delta} \right)^{0,5} T - z_g - \frac{P_{\text{изм}}}{D + P_{\text{изм}}} \left(T + \frac{\delta T}{2} - h - z_p \right). \quad (26)$$

Уравнение вместимости можно записать в виде

$$\Phi = \sum W_i, \quad (27)$$

где $\sum W_i$ — сумма потребных теоретических объемов, м³; W_Φ — фактическая вместимость корпуса и надстроек, м³.

В. Л. Поздючиным была введена обобщенная запись левой части уравнения вместимости [4]:

$$W_\Phi = W_k (1 + s_n), \quad (28)$$

где S_n — коэффициент развития надстроек (отношение объемов надстроек (рубок) и корпуса); W_i — объем корпуса, м³.

Объем корпуса определяется по формуле [4]:

$$W_k = k_c \frac{D}{\rho} \left(\frac{H}{T} \right)^{\frac{\alpha}{\delta}}, \quad (29)$$

где k_c — коэффициент седловатости; ρ — плотность воды.

На ранних стадиях проектирования спасательного судна в общем случае нужна разбивка объемов по функциональному назначению на сравнительно небольшое число слагаемых (статей). Тогда структура правой части уравнения вместимости будет иметь вид

$$\sum W_i = W_m + W_{tv} + W_{pm} + W_t + W_{ct} + W_{bl} + W_{gp} + W_{cn} + W_{ek} + W_{pv} + W_{pr} + W_{sp} + W_3, \quad (30)$$

где W_m — объем машинного отделения, м³; W_{tv} — объем туннеля гребного вала, м³; W_{pm} — объем помещений для подпалубных механизмов и судовых устройств, м³; W_t — объем цистерн для размещения запасов топлива и смазки, м³; W_{ct} — объем стоечных цистерн, м³; W_{bl} — объем цистерн для балластной воды, м³; W_{gp} — объем помещений постоянных жидких грузов, м³; W_{cn} — объем помещений для снабжения и имущества, м³; W_{ek} — объем жилых и бытовых помещений для экипажа, м³; W_{pv} — объем цистерн пресной воды, м³; W_{pr} — объем помещений провизионных кладовых, м³; W_{sp} — объем помещений для спасенных людей, м³; W_3 — запас вместимости, учитывающий мелкие объемы, м³.

Перечисленные объемы можно разделить на две группы. К первой группе относятся объемы, зависящие от неизвестных характеристик судна. Они включают W_m , W_{tv} , W_{pm} , W_t , W_{ct} , W_{bl} , W_{gp} , W_{cn} , W_3 . С использованием рекомендаций [1; 4] они могут быть определены следующими выражениями:

$$W_m = b_1 B H, \quad (31)$$

$$W_{tv} = b_2 W, \quad (32)$$

$$W_{pm} + W_{bl} + W_{gp} + W_{cn} + W_3 = b_3 D, \quad (33)$$

$$W_t + W_{ct} = b_4 N, \quad (34)$$

где b_1 , b_2 , b_3 , b_4 — измерители объемов соответствующих статей.

Во вторую группу статей включены независимые объемы W_{ek} , W_{pv} , W_{pr} , W_{sp} . Они либо задаются непосредственно техническим заданием, либо рассчитываются по нему методом подбора соответствующих нормативов и параметров:

$$W_{ek} = b_5 N_3, \quad (35)$$

$$W_{pv} + W_{pr} = b_6 A N_3, \quad (36)$$

$$W_{sp} = b_7 N_{cn}. \quad (37)$$

С учетом перечисленных формул уравнение вместимости получает вид

$$k_c (1 + s_n) \frac{D}{\rho} \left(\frac{H}{T} \right)^{\frac{\alpha}{\delta}} = b_1 B H + b_2 L + b_3 D + b_4 N + W_n, \quad (38)$$

где W_n — сумма независимых объемов:

$$W_n = W_{ek} + W_{pv} + W_{pr} + W_{sp} = b_5 N_3 + b_6 A N + b_7 N_{cn}. \quad (39)$$

Таким образом, мы получаем уравнение вместимости для спасательного судна:

$$k_c (1 + s_n) \frac{D}{\rho} \left(\frac{H}{T} \right)^{\frac{\alpha}{\delta}} = b_1 B H + b_2 L + b_3 D + b_4 N + b_5 N_s + b_6 A N + b_7 N_{\text{сп}}. \quad (40)$$

2. Дополнительные требования с учетом других мореходных качеств судна.

2.1. Требования к запасу плавучести.

Для обеспечения запаса плавучести следует произвести проверку высоты надводного борта судна с учетом требований «Правил о грузовой марке». Эти правила основаны на требованиях Международной конвенции о грузовой марке и определяют порядок и условия расчета минимально допустимого надводного борта $F_{\min}$. Величина надводного борта $F_{\min}$ согласно Правилам может быть определена из выражения

$$= H - T = f_T \cdot F K_d + K_H + K_{Hg} + K_S, \quad (41)$$

где f_T — табличный или базисный надводный борт, мм; K_d — поправка на отклонение фактического коэффициента общей полноты от стандартного, мм; K_H — поправка на отклонение фактической высоты борта от стандартной, мм; K_{Hg} — вычет на наличие надстроек, мм; K_S — поправка на отклонение фактической седловатости верхней палубы от стандартной, мм.

2.2. Начальная метацентрическая высота судна должна быть не менее его минимально допустимого значения [2]:

$$h_0 \geq h_{0\min}, \quad (42)$$

где h_0 — фактическая начальная метацентрическая высота, м; $h_{0\min}$ — минимально допустимое значение начальной метацентрической высоты, м.

2.3. Требования к параметрам диаграммы статической остойчивости:

— максимальное плечо остойчивости $l_{\max}$ должно быть не менее 0,25 м для судов длиной 80 м и менее 0,20 м для судов длиной 105 м и более при угле крена $\theta_m \geq 30^\circ$. Для промежуточных значений L величина $l_{\max}$ определяется линейной интерполяцией;

— максимальное плечо должно соответствовать углу крена $\theta \geq 30^\circ$;

— угол заката диаграммы $\theta_{\text{зак}} \geq 60^\circ$.

При отсутствии теоретического чертежа диаграмму статической остойчивости можно построить приближенным способом по методу В. Г. Власова — С. Н. Благовещенского [5]. После вычисления плеч диаграммы Рида находится угол заката $\theta_{\text{зак}}$, максимальное плечо $l_{\text{ст max}}$ и угол, который отвечает $\theta_m = \theta_{\text{ст max}}$.

2.4. Критерий остойчивости при рывке буксирного троса в процессе проведения морских буксировок.

Остойчивость спасательного судна должна рассматриваться применительно к буксирным функциям, поскольку именно с использованием их при буксирных операциях связаны основные трудности обеспечения этими судами необходимой остойчивости. Согласно [2] морские буксирные суда, кроме удовлетворения общим требованиям остойчивости, должны обладать достаточной динамической остойчивостью, чтобы противостоять кренящему действию условного поперечного рывка буксирного троса. Для этого необходимо выполнить требование:

$$K_2 = \sqrt{\frac{l_{d\max}}{l_{d\text{кк}}}} - \Delta K \geq 1,0, \quad (43)$$

где $l_{d\max}$ — плечо динамической остойчивости при угле крена, соответствующем максимуму диаграммы статической остойчивости или углу заливания, в зависимости от того, какой из них меньше, м; $l_{d\text{кк}}$ — динамическое кренящее плечо, м, вычисляемое по рекомендациям [2];

ΔK — составляющая K_2 , учитывающая влияние бортовой качки на результирующий угол крена.

3. Выбор показателя для оценки эффективности спасательного судна.

Для оценки эффективности спасательного судна можем принимать приведенные затраты [7], определяемые по формуле [1; 6; 7]:

$$F = E_{\text{норм}} \cdot K + C, \quad (44)$$

где F — приведенные расходы спасательного судна; K — строительная стоимость спасательного судна; C — годовые эксплуатационные расходы спасательного судна; $E_{\text{норм}}$ — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

Строительная стоимость судна может определяться по формуле Б. А. Царева:

$$K = 0,004P_{\text{к}} + 0,008P_{\text{ус}} + 0,016P_{\text{м}} + 0,032P_{\text{эл}}, \quad (45)$$

где $P_{\text{к}}$ — масса корпуса судна, т; $P_{\text{ус}}$ — масса устройств и систем судна, т; $P_{\text{м}}$ — масса энергетической установки, т; $P_{\text{эл}}$ — масса электрооборудования и штурманских приборов, т.

Эксплуатационные расходы спасательного судна вычисляются по формуле [6]:

$$C = C_1(K) + C_2 + C_3 + C_4, \quad (46)$$

где $C_1(K)$ — расходы, зависящие от строительной стоимости (амортизация и текущий ремонт); C_2 — расходы на экипаж; C_3 — расходы на топливо и смазку; C_4 — косвенные расходы.

4. Алгоритм решения задачи определения основных характеристик спасательных судов.

Как говорилось выше, основные мореходные качества спасательных судов выражают через уравнения и неравенства. Таким образом, в математическом смысле элементы проектируемого судна должны представлять собой корни системы уравнений, включающих перечисленные выше мореходные качества судна. Решение этой системы позволяет определить элементы судна, которые удовлетворяют требованиям проектанта.

Характер задачи оптимизации и возможные методы решения существенно зависят от той информации о критерии оптимизации, которая доступна в процессе исследования. В случае оптимизации проектных характеристик судна критерий оптимизации может быть вычислен в различных точках пространства, но функцию для определения критерия нельзя дифференцировать или получить явное выражение для градиента. Поэтому из всех методов оптимизации в данном случае можно использовать лишь методы, оперирующие непосредственно со значением критерия.

Особенностью выбранных критериев оптимизации является то, что нельзя что-либо сказать о характере функции, в том числе и о том, сколько она имеет экстремумов. В данном случае наиболее надежным является метод сплошного перебора. Его суть состоит в разбиении диапазонов изменения оптимизируемых параметров на конечное число отрезков и в расчете критерия оптимизации в образовавшихся узлах пространственной сетки. Затем критерии сравниваются между собой. Оптимальным считается набор параметров оптимизации, для которого величина критерия принимает в данном случае наименьшее значение. Этот алгоритм может применяться при любых типах целевых функций и при любых ограничениях.

Сплошной перебор для больших задач можно заменить случайным поиском, но последний метод является менее надежным. Кроме того, при быстроедействии современных ЭВМ не возникает проблем с экономией времени. Это важно, так как метод сплошного перебора является трудоемким, особенно при большом количестве параметров оптимизации.

Задача определения оптимальных характеристик спасательного судна решается по схеме, представленной на рис. 1.

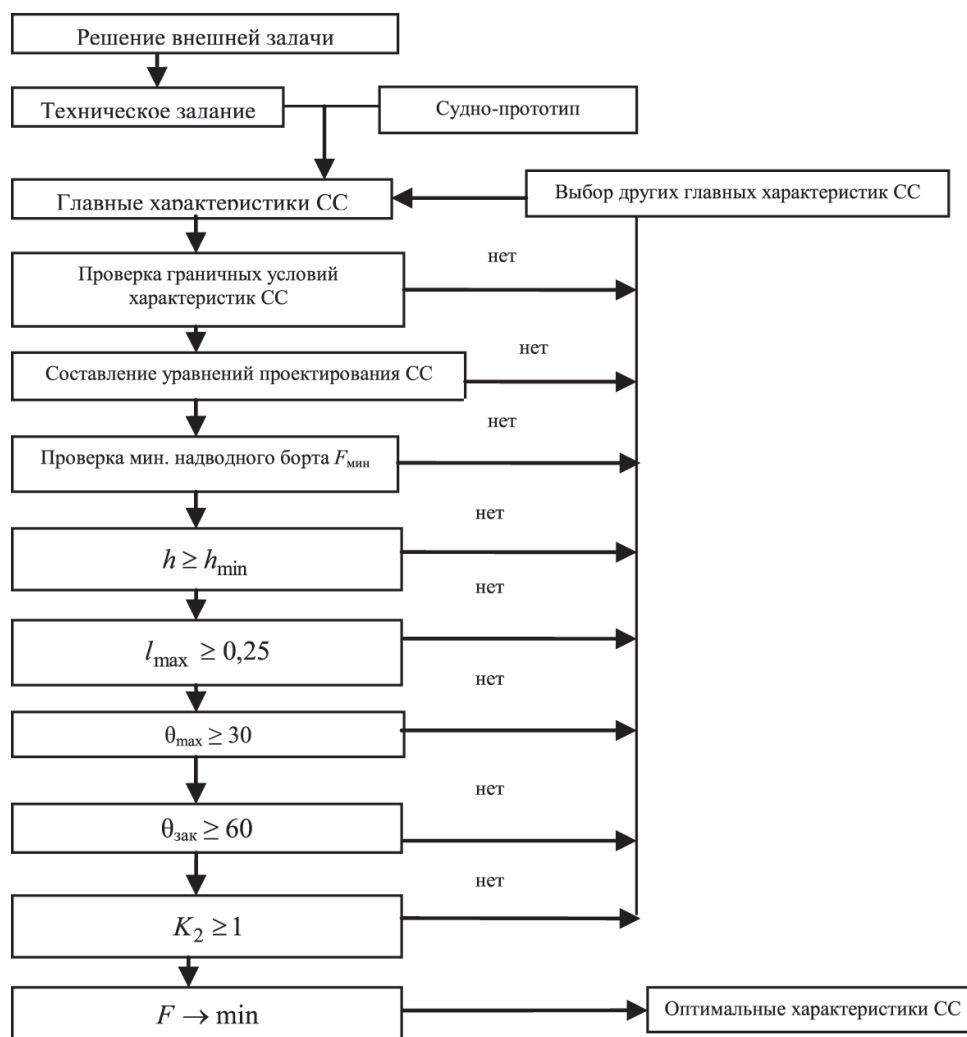


Рис. 1

Выводы.

1. Разработаны уравнения теории проектирования спасательных судов.
2. Рассмотрены дополнительные требования к проектированию спасательных судов.
3. Предложен и апробирован алгоритм решения задачи определения основных характеристик спасательных судов.

Список литературы

1. Ашик В. В. Проектирование судов: учебник / В. В. Ашик. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Судостроение, 1985. — 320 с., ил.
2. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. — СПб., 2012. — Т. 1.
3. Гурович А. Н. Проектирование спасательных и пожарных судов / А. Н. Гурович, А. А. Родионов. — Л.: Судостроение, 1971. — 288 с.
4. Раков А. И. Проектирование промысловых судов / А. И. Раков, Н. В. Севастьянов. — Л.: Судостроение, 1981. — 376 с.

5. Статика корабля: учебник / В. В. Рождественский [и др.]. — Л.: Судостроение, 1986. — 240 с., ил.
6. Зуев В. А. Оптимизационные задачи проектирования судов: учеб. пособие / В. А. Зуев; Нижегород. политехн. ин-т. — Н. Новгород, 1991.
7. Грамузов Е. М. Постановка задачи оптимизации характеристик спасательных судов и спасательного флота / Е. М. Грамузов, В. К. Май // Инновации в науке, образовании и бизнесе–2013: материалы Междунар. науч. конф., 25–27 сентября 2013 г. — Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. — 403 с.
8. Грамузов Е. М. Обоснование проектных характеристик речных ледоколов / Е. М. Грамузов, Н. Е. Тихонова // Тр. НГТУ. — Н. Новгород, 2013. — № 3.
9. Май Ван Куан. Оптимизация характеристик спасательных судов и пополнения спасательного флота Вьетнама / Май Ван Куан // Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. Сер.: «Морская техника и технология». — Астрахань: Изд-во АГТУ, 2013. — Вып. 2.
10. Май Ван Куан. Особенности проектной оценки ходкости спасательных судов для применения во Вьетнаме / Май Ван Куан // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. — Курск, 2011. — № 3 (57).

УДК 681.5

Е. В. Лавров,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ГЕНЕРАЦИЯ ПАНОРАМНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В СУДОВОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ВИЗУАЛЬНОГО НАБЛЮДЕНИЯ

THE CREATION OF PANORAMIC IMAGE IN SHIP'S AUTOMATED VISUAL WATCHING SYSTEM

В статье приведено описание метода генерации панорамного изображения, являющейся одной из функций, выполняемых судовой автоматизированной системой визуального наблюдения. За счет программной стабилизации предложенный метод позволяет получать панорамное изображение при использовании установленной на судне группы видеокамер, не имеющих гиросtabilизирующих систем.

There is a description of the panoramic image creation method. This process is function of ship's automated visual watching system. The proposed method allows to obtain panoramic image using group of cameras, which are installed onboard and don't have gyro-stabilization systems.

Ключевые слова: визуальное наблюдение, автоматизация, стабилизация изображений.
Key words: visual watching, automation, image stabilization.

ВЕДЕНИЕ визуального наблюдения на судне является неотъемлемой частью процесса судовождения и одной из важнейших мер по обеспечению его безопасности. В настоящее время данное средство оценки навигационной обстановки имеет ограниченные возможности, а также сильно подвержено влиянию человеческого фактора. Автоматизация данного процесса позволила бы расширить возможности визуального наблюдения, уменьшить влияние человеческого фактора и в результате повысить надежность данного метода оценки навигационной обстановки.

Для решения проблем визуального наблюдения предлагается создать автоматизированную судовую систему визуального наблюдения, одной из ключевых особенностей которой является обеспечение панорамного обзора в 360° вокруг судна. Для реализации данной функции в предложенной системе предлагается использование группы видеокамер. Углы обзора и месторасположение устанавливаемых видеокамер выбираются таким образом, чтобы группа камер, установленная по периметру судна, смогла обеспечить панорамный 360-градусный обзор, а углы обзора двух соседних камер имели перекрытие, равное $7-8^\circ$ по горизонтали. При этом необходимо помнить, что угол обзора используемых камер не должен быть слишком большим. В противном случае высока вероятность возникновения дисторсии и других aberrаций оптической системы видеокамер [1].

Генерация панорамного изображения осуществляется за счет склейки отдельных изображений, получаемых от отдельных видеокамер, состоящих в единой группе. В связи с тем, что судно, как и любой другой морской объект, подвержено качке, необходимо обеспечить стабилизацию изображений, получаемых от группы видеокамер. В противном случае линия горизонта на разных кадрах будет иметь различные угол наклона и высоту и на склеенном изображении горизонт примет форму ломаной линии.

В настоящее время решением данной проблемы является использование видеокамер на гиростабилизирующих платформах, которые, в свою очередь, являются достаточно дорогостоящим и сложным оборудованием. С учетом того, что в предлагаемой системе требуется использование нескольких видеокамер, стоимость и сложность такой системы многократно возрастает. В качестве альтернативного решения вместо применения гиростабилизирующих платформ предлагается использование программной стабилизации, позволяющей без дополнительного оборудования осуществлять выравнивание изображений, захваченных с видеокамер, по горизонту при определенных пределах бортовой и килевой качки.

Ниже приводится схема и алгоритм генерации панорамного изображения с применением программной стабилизации (рис. 1):

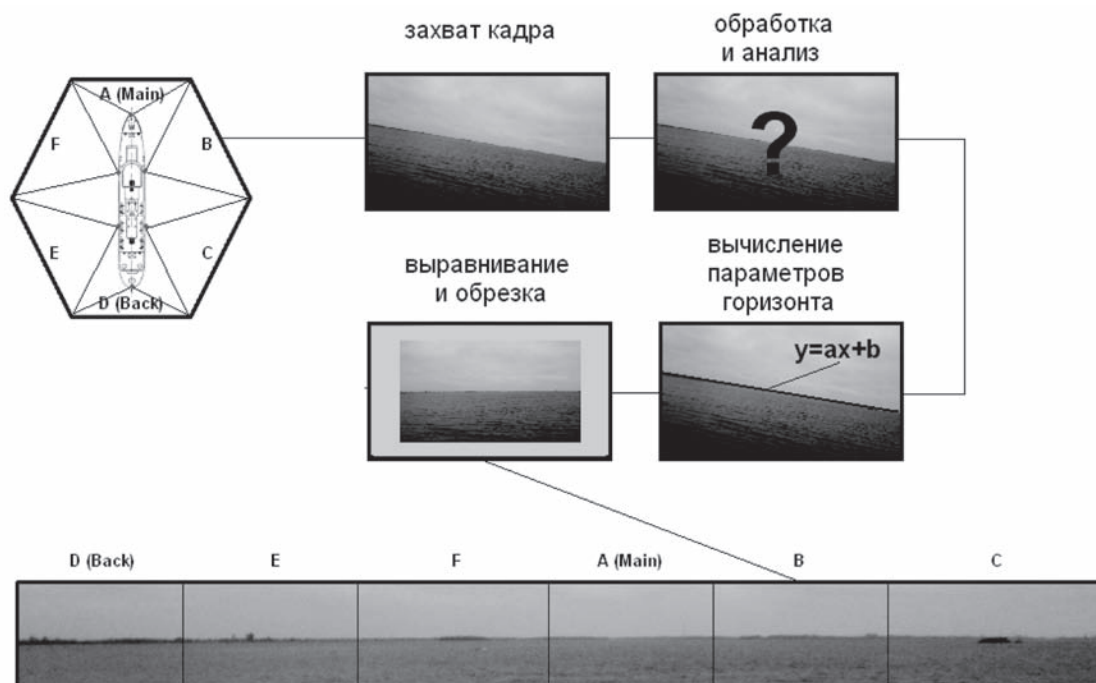


Рис. 1. Алгоритм генерации панорамного изображения

1) на вычислительное устройство поступают изображения, полученные со всех видеокамер в один и тот же момент времени. Одновременный захват изображений со всех видеокамер обеспечивается системой синхронизации;

2) вычислительное устройство осуществляет предварительную обработку захваченных изображений, после чего анализирует их и вычисляет угол наклона и параметр сдвига горизонта относительно условного идеального расположения линии горизонта, под которым понимается следующее положение: линия горизонта расположена по центру кадра и делит изображение по вертикали на две равные части. Параметр сдвига горизонта также является условным числом и равняется количеству пикселей между линией, соответствующей условному идеальному расположению горизонта, и линией горизонта, обнаруженного на захваченном изображении;

3) выполняется выравнивание каждого изображения с учетом известного угла наклона и параметра сдвига для получения выровненного изображения;

4) происходит обрезка изображения по краям, в результате чего изображение уменьшается на 25 % относительно оригинального стоп-кадра;

5) на заключительном этапе выполняется подстановка данного изображения в общую группу выровненных и обрезанных изображений, которые вместе образуют панорамную картину обстановки вокруг судна.

Остановимся более подробно на каждом из этапов алгоритма.

Предварительная обработка изображения заключается в создании миниатюры изображения и переводе ее цветовой схемы RGB в цветоразностную схему YUV, из которой в дальнейшем используется только яркостная характеристика Y. Создание миниатюры и переход к схеме YUV позволяют значительно уменьшить количество вычислений, которые необходимо производить в дальнейшем при анализе изображения и поиске линии горизонта. Так как все расчеты выполняются с изображением, представленном в матричном виде, перевод цветовой схемы дает возможность оперировать только одним, яркостным, значением каждой точки вместо трех значений в схеме RGB. Создание миниатюры в свою очередь уменьшает количество исследуемых точек изображения. Например, для изображений с разрешением 1280×720 пикселей миниатюра будет иметь разрешение 320×180 пикселей. Таким образом, при использовании миниатюры количество исследуемых точек уменьшается с 921 600 до 57 600, что дает значительный выигрыш в скорости выполняемых расчетов.

Анализ миниатюры входного изображения заключается в определении трех параметров:

- 1) общей яркости всего изображения;
- 2) средней контрастности точек по вертикали изображения;
- 3) максимально яркой точки на всем изображении.

Три данных параметра поступают на классификатор сцен, который позволяет определить: является ли снимок дневным или ночным, а в последнем случае — если на данном ночном снимке имеются какие-либо яркие пятна, которые возможно будет использовать в качестве опорных точек для поиска линии горизонта и последующего выравнивания изображения. После классификации сцены выбирается оптимальный алгоритм нахождения линии горизонта для каждой конкретной сцены.

Далее согласно выбранному алгоритму осуществляется поиск линии горизонта на миниатюре изображения путем выделения контуров объектов за счет фильтрации Собеля [2]. Пороговое значение для данного фильтра устанавливается с помощью параметров, полученных при анализе миниатюры входного изображения. В случае если снимок, захваченный с видеокамеры, классифицирован как ночной и на нем нет опорных точек, фильтрация такого изображения не производится и дальнейшие действия по выравниванию изображения не выполняются.

При расчете оптимального порогового значения необходимо обеспечить несколько условий:

- 1) гарантированность выделения контура горизонта;
- 2) уменьшение вероятности выделения на изображении контуров других объектов, не являющихся горизонтом;

3) способность к выделению контуров на зашумленных изображениях и изображениях с низкой контрастностью.

После выделения контуров объектов осуществляется поиск последовательности точек, составляющих линию. Необходимо учитывать, что последовательность точек может быть как прерывной, так и непрерывной. Поиск данной последовательности осуществляется с помощью подстановки координат точек контуров в уравнение прямой:

$$y = a \times x + b,$$

где y — координата исследуемой точки по высоте изображения (пиксель);

x — координата исследуемой точки по ширине изображения (пиксель);

a — переменная, принимающая значения от $-0,35$ до $0,35$;

b — переменная, принимающая значения от 0 до 180 .

Границы области значений переменных a и b соответствуют параметрам уравнений прямых, которые ограничивают зону возможного нахождения линии горизонта. Самая длинная последовательность точек, отвечающих уравнению прямой при фиксированных значениях a и b , образует самую длинную прямую линию на миниатюре изображения. Данная линия предположительно и является линией горизонта, а значения параметров a и b соответствуют углу и параметру сдвига горизонта.

После выполняется поворот и сдвиг изображения на соответствующий угол и параметр сдвига горизонта. Поворот изображения выполняется с помощью алгоритма CORDIC [3], а сдвиг изображения — с помощью изменения координат точек миниатюры изображения, представленного в матричном виде. Так как расчет параметра сдвига линии горизонта выполнялся на уменьшенной копии входного изображения (миниатюре), необходимо провести масштабирование данного параметра в соответствии с соотношением размеров входного изображения и его миниатюры. После выполнения данных операций поворота и сдвига местоположение горизонта на изображении соответствует условно идеальному расположению линии горизонта.

Далее выполняется обрезка изображения по краям. Данная операция необходима для обеспечения одинакового размера выровненных изображений, захваченных и обработанных со всех видеокамер, для подстановки в общее панорамное изображение. Кроме того, обрезка краев изображений позволяет избежать отображения его пустых областей, возникающих в результате поворота изображения.

В конечном итоге выровненное изображение добавляется в общую группу изображений, которая в сумме составляет панорамное изображение окружающей обстановки. Также полученное панорамное изображение в матричном виде передается на следующие части программы, отвечающие за распознавание морских объектов, нанесение графических обозначений на изображение и запись кадров на носитель информации.

На основе данного алгоритма генерации панорамного изображения написана программа на языке программирования Pascal в среде разработки Borland Delphi [4] с целью тестирования данного алгоритма с помощью групп тестовых изображений, представляющих собой фотоизображения морского горизонта в разное время суток и при различных погодных условиях. Для создания групп изображений написана дополнительная программа, выполняющая смещение линии горизонта на изображениях, симулирующая влияние качки на изображения, полученные с видеокамер, расположенных по периметру судна и не имеющих гиросtabilизирующих платформ. Результаты тестирования показали, что данный алгоритм успешно выполняет генерацию панорамного изображения, а скорость обработки изображений позволяет использовать его в режиме реального времени.

Список литературы

1. *Борн М.* Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. — 2-е изд. — М.: Наука, 1973. — 716 с.
2. *Фисенко В. Т.* Компьютерная обработка и распознавание изображений / В. Т. Фисенко, Т. Ю. Фисенко. — СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. — 192 с.
3. *Volder J. E.* The CORDIC trigonometric computing technique / J. E. Volder; The Institute of Electrical and Electronic engineers // IRE Transactions on Electronic Computers. — 1959. — Vol. 8, № 3. — 532 с.
4. *Архангельский А. Я.* Программирование в Delphi для Windows / А. Я. Архангельский. — М.: Бином Пресс, 2007. — 1248 с.

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

УДК 623.4

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

А. Г. Таранин,
доцент,
ФГБОУ ВПО «Новороссийский
государственный морской университет
им. адм. Ф. Ф. Ушакова»;

А. А. Чертков,
канд. техн. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

АЛГОРИТМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КУРСОМ СУДНА

ENERGOEFFICIENT SHIP STEERING CONTROL ALGORITHM

В статье рассматривается алгоритм энергоэффективного управления курсом судна, базирующийся на методе синтеза робастного регулятора и процедуре апериодического управления с использованием матрицы Ляпунова. На основе алгоритма выполняется синтез системы управления курсом судна, обеспечивающей минимум энергии на управление рулевым комплексом. Приведен пример расчета системы.

The article is devoted to construction of energy efficient algorithm for ship steering control that is based on robust regulator synthesis and dead beat control treatment with Lyapunov matrix employment. Numerical algorithm is used for ship steering synthesis with minimum energy for rudder control. Example of energy efficient system design is suggested.

Ключевые слова: алгоритм, энергетическая эффективность, робастный регулятор, апериодическое управление, матрица Ляпунова, управление рулем судна, модель, оптимизация.

Key words: algorithm, energy efficiency, robust regulator, dead beat control, Lyapunov matrix, ship rudder control, model, optimization.



АВТОМАТИЗАЦИЯ управления энергетической эффективностью судов является одной из важнейших проблем на морском и речном флоте. В состав концептуальных положений этой проблемы согласно Конвенции МАРПОЛ и Резолюции МЕРС.213(63) входят технологии синтеза автоматизированных систем управления курсом и рулевыми устройствами, обеспечивающие повышение энергоэффективности судна. Предполагается, что судовые навигационные управляющие системы должны обеспечивать значительную экономию топлива путем сокращения расстояния, пройденного с отклонением от заданного пути, улучшения управления рулевым комплексом и др. [6, с. 35–40].

Развитие методов и средств компьютерного моделирования, базирующихся на современных технических и программных средствах, способствует значительному повышению эффективности и качества синтеза высокоэффективных систем управления морскими и речными судами в сложных погодных и путевых условиях. Первостепенную роль в обеспечении высокой точности удержания судна на курсе и выполнении сложных маневров играют судовые авторулевые комплексы. Возросшие требования к соблюдению правил безопасности плавания и решению задач логистики в условиях конкуренции определяют актуальность создания авторулевых, обладающих рядом

преимуществ, которые принципиально не могут быть реализованы традиционными средствами со структурой ПИД-регуляторов.

Как правило, регулятор состояния или выхода синтезируется с помощью методов аналитического конструирования (АКОР) в предположении, что время действия системы $t \rightarrow \infty$ и в процессе синтеза нелинейное дифференциальное уравнение Риккати вырождается в алгебраическое матричное уравнение, решаемое эффективными численными методами. В этом, по существу, состоит упрощение процедуры синтеза регуляторов методом АКОР.

Повышение маневренных качеств судов требует использования для управления различных оптимальных законов: обеспечение минимального времени маневрирования в условиях ограничений на переменные состояния и управления, обеспечение минимального расхода топлива при стабилизации курса в условиях волнения и др.

В работе предлагается алгоритм маневрирования судна по критерию минимума энергии на управление, обеспечивающий переход из заданного начального состояния в требуемое конечное состояние (не обязательно нулевое) в течение фиксированного времени. Время выбирается таким образом, чтобы максимальное отклонение пера руля от положения диаметральной плоскости не превышало заданных значений (ограничение на сигнал управления). Алгоритм основан на применении матрицы Крылова для оценки вектора оптимального управления [5, с. 83–87].

Известно, что динамические свойства каждого судна в процессе эксплуатации существенно изменяются вследствие значительного влияния различных факторов на их рабочие характеристики. Параметры моделей динамики речных судов и судов смешанного река–море плавания (отечественных серий «Волгонефть», «Волго-Дон», класса «Волго-Дон макс» и др.) зависят от осадки, скорости движения, глубины под килем, скорости течения реки, характеристик фарватера и других факторов. Поэтому для управления требуется оценка характеристик, идентификация параметров моделей по экспериментальным данным, расчет регуляторов для автоматизации и оптимальной настройки авторулевого комплекса. Выполнение этих операций возможно при наличии на судне хорошо развитой информационной системы, базирующейся на вычислительных средствах при соответствующем программном и техническом обеспечении.

Моделирование и алгоритмизация режимов движения неустойчивых на курсе речных судов показывают, что возможно на качественно новом уровне решить задачу стабилизации судна как нелинейного динамического объекта в условиях ветрового воздействия, исследовать бифуркационные процессы, получить и объяснить закономерности возникновения неоднозначности стационарных режимов, автоколебаний, ухудшения условий управляемости. В результате могут быть созданы алгоритмы синтеза интеллектуального авторулевого, что позволит синтезировать устройства автоматизации для реализации энергоэффективных технологий. Рабочие параметры систем автоматического удержания судов на курсе на тихой воде и на волнении должны быть различными. Эта особенность связана с необходимостью ограничения количества включений рулевой машины при ухудшении погодных условий с целью снижения износа механизма рулевого устройства и потери полезной мощности судовой силовой установки [2, с. 3–4].

Морские и речные суда, работающие на закрепленных грузовых линиях, эксплуатируются на двух основных (квазистационарных) режимах: в грузу и балласте. Специфика управления состоит в том, что структура математической модели судна не изменяется, а матричные коэффициенты объекта автоматизации сохраняются постоянными для каждого из двух режимов. Тогда, исходя из опыта эксплуатации авторулевых, можно полагать, что постоянные коэффициенты матрицы регулятора не изменяются при вариации динамических параметров объекта в заданных пределах и обеспечиваются свойства робастности системы. Одновременно минимизируется критерий качества, состоящий из аддитивных составляющих, характеризующих каждый квазистационарный режим. По существу, предлагается единый регулятор для двух режимов, обеспечивающий минимум расхода топлива в рейсе [3, с. 7–8]. Основное преимущество такого регулятора состоит в отсутствии необходимости перенастройки параметров при переходе с режима на режим и обеспечении устойчивости во всем диапазоне изменения параметров объекта.

Рассмотрим судно, модель которого представлена матричными уравнениями в пространстве состояний для двух режимов:

$$\dot{x}(t) = A_i x(t) + b_i u(t), \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

где $x(t) \in R^n$ — вектор состояния и $u(t) \in R$ — управление. $A \in R^{n \times n}$ и $b_i \in R^n$ не изменяются во времени. Система (1) полностью управляема для двух режимов. Для каждой модели рассчитаем регулятор состояния:

$$\dot{x}_i(t) = -K^T x_i(t), \quad (2)$$

обеспечивающий минимум целевой функции:

$$J_i = \frac{1}{2} \int_0^\infty (x_i^T Q x_i + u_i^T R u_i) \cdot dt, \quad (3)$$

где $Q \in R^{n \times n}$ — симметрическая положительно полуопределенная матрица; R — положительно определенная матрица.

Управление судном (1) реализуем с помощью регулятора K , пригодного по параметрам настройки для двух систем ($i = 1, 2$). Параметры регулятора должны обеспечивать минимум критерия качества:

$$L(K) = \sum_{i=1}^2 w_i \cdot J_i(K), \quad (4)$$

где w_i — весовые коэффициенты (выбираются исходя из условий минимизации расхода топлива в рейсе [3]).

В замкнутом состоянии каждая i -я система имеет матрицу

$$A_{zi}(K) = (A_i - b_i \cdot K^T), \quad i = 1, 2, \dots,$$

спектр которой должен обеспечивать устойчивость и динамические свойства, отвечающие требованиям минимума (4).

Если (3) представить как функцию K , то критерий качества примет вид

$$J_i(K) = \frac{1}{2} \int_0^\infty x_i^T (Q + K R K^T) x_i \cdot dt. \quad (5)$$

Известно, что минимум (5) определяется в результате решения матричного уравнения Ляпунова и, кроме того, зависит от вектора начальных условий $x_i(0)$. Чтобы упростить задачу, предлагается рассматривать $x_i(0)$ как вектор с единичными начальными условиями либо считать его случайным с математическим ожиданием $E\{x_i(0)\} = 0$ и ковариационной матрицей $E\{x_i(0) \cdot x_i^T(0)\} = X_0$, равной единичной матрице:

$$X_0 = I.$$

Тогда согласно работе [3] для минимизации (5) необходимо найти след матрицы Ляпунова, получаемый как положительно определенное решение уравнения

$$P_i A_{zi}(K) + A_{zi}^T(K) \cdot P_i = -D, \quad (6)$$

где $D = Q + K \cdot R \cdot K^T$. В результате будем иметь

$$J_i(K) = \frac{1}{2} \text{tr}(P_i). \quad (7)$$

Рассмотрим модель судна, работающего на закрепленной линии. Уравнения динамики в грузу и балласте представим в виде двух систем [3]:

— в грузу:

$$\dot{x}(t) = A_1 x(t) + b_1 u(t);$$

— в балласте:

$$\dot{x}(t) = A_2 x(t) + b_2 u(t)$$

при следующих численных значениях матриц:

$$A_1 = \begin{bmatrix} -0.298 & -0.279 & 0 \\ -4.370 & -0.773 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad b_1 = [0.116 \quad -0.773 \quad 0]^T,$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} -0.428 & -0.339 & 0 \\ -2.939 & -1.011 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad b_2 = [0.150 \quad -1.011 \quad 0]^T.$$

Здесь вектор $x(t) = [x_1(t) \ x_2(t) \ x_3(t)]^T$. В принятых обозначениях $x_1(t) = \beta(t)$ — угол дрейфа; $x_2(t) = \omega(t)$ — угловая скорость по курсу; $x_3(t) = \varphi(t)$ — курсовой угол; $u(t) = \delta(f)$ — угол перекладки руля [1, с. 784–796].

В критерии (5) выберем матрицу $Q = I$. Для определения численных значений коэффициентов робастного регулятора и критериев, аддитивно входящих в уравнение (7), воспользуемся табличными данными, приведенными в работе [3]. В результате для $R = I$ получим

$$K = [3.8609 \ -2.3370 \ -1.3405], \quad J_1(K) = 10.8579, \quad J_2(K) = 4.7524.$$

Критерий оптимальности (4) принимает численное значение:

$$J = 15.6123.$$

Составим файл для расчета регулятора и моделирования замкнутой системы. Заметим, что собственные значения матриц A_1 и A_2 соответственно равны:

$$\text{eig}(A_1) = [0 \ -1.6649 \ 0.5939]; \quad \text{eig}(A_2) = [0 \ -1.7594 \ 0.3204].$$

Применение регулятора K согласно равенству

$$A_{ci}(K) = (A_i - b_i \cdot K^T), \quad i = 1, 2,$$

обеспечивает устойчивость системы на обоих режимах: собственные значения матрицы A_{c1} :

$$p_1 = \text{eig}(A_{c1}) = [-2.1808; -0.5723 + 0.3545i; -0.5723 - 0.3545i]$$

и аналогично собственные значения A_{c2} равны

$$p_2 = \text{eig}(A_{c2}) = [-2.8715; -1.1568; -0.3525].$$

Теперь по заданным спектрам матриц A_{c1} и A_{c2} выполним расчет регуляторов, для чего воспользуемся функцией `acker` инструментария Control Toolbox среды MatLab. В результате применения модального метода синтеза получим:

$$K_{es1} = \text{acker}(A_1, B_1, p_1);$$

$$K_{es2} = \text{acker}(A_2, B_2, p_2);$$

$$K_{es} = K_{es1} = K_{es2} = [3.8609 \ -2.3370 \ -1.3405],$$

что свидетельствует о корректности выполненных решений. Переходные процессы в устойчивой системе управления с робастным регулятором K_{es} приведены на рис. 1 и 2.

При управлении судном в грузу (рис. 1) наблюдаются колебания ввиду наличия двух комплексно-сопряженных корней в спектре матрицы A_{c1} . Матрица A_{c2} , полученная для судна в балласте, содержит в составе спектра только вещественные отрицательные числа. Поэтому переходный процесс является аperiodическим (рис. 2).

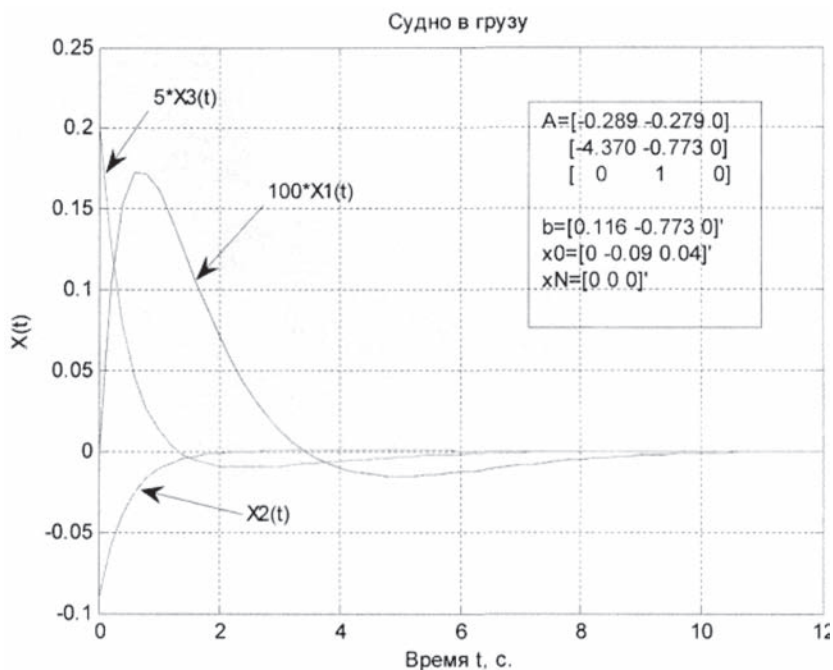


Рис. 1. Переходный процесс при управлении судном в грузу

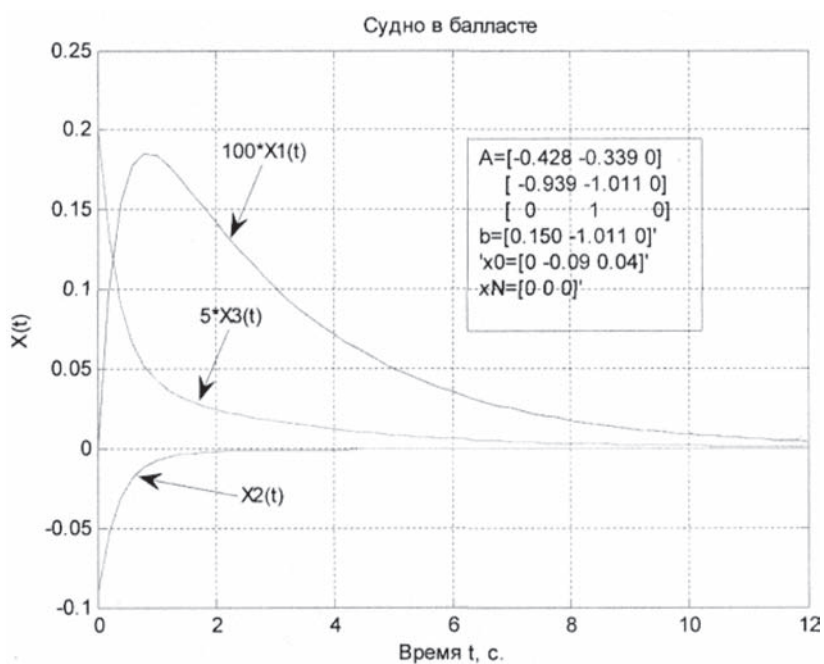


Рис. 2. Переходный процесс при управлении судном в балласте

Если весовая матрица $Q = 0$, критерий (3) характеризует потери энергии на управление рулевым комплексом. Путем изменения верхней границы интеграла можно задать конечное время переходного процесса в системе, и тогда целью процедуры оптимизации будет повышение энергоэффективности рулевого комплекса судна. Для решения задач рассматриваемого класса можно предложить численный алгоритм, основанный на использовании матрицы Крылова [5].

Применение численного алгоритма связано с переходом от модели непрерывной системы (1) к дискретной, что позволяет использовать принципы аperiodического управления для получения энергоэффективных решений в исследуемой предметной области.

Из работ Калмана и Тоу известно, что в общем случае для перевода динамической системы (1) с помощью дискретных управлений из начального в конечное (например, нулевое) состояние требуется синтезировать n сигналов управления, где $(n \times n)$ — размерность матрицы A . Поэтому весь временной интервал N должен состоять не менее чем из n интервалов, на которых управления могут быть кусочно-постоянными функциями [3].

При кусочно-постоянных сигналах управления i -й системой модели (1) с одним входом, амплитуда которых изменяется в моменты квантования по времени с помощью электронного квантователя, решение при заданном векторе начальных условий $X(t_0)$, имеет вид [5]:

$$X(t_N) = W^N X(t_0) - K_r \cdot U, \quad (8)$$

где $X(t_N)$ — вектор состояния объекта в момент t_N ; K_r — матрица Крылова; W — матричный экспоненциал, U — вектор кусочно-постоянных управлений размерности $(N \times 1)$. Матрица Крылова полного ранга размерности $(n \times N)$ имеет вид

$$K_r = [W^{N-1} \ W^{N-2} \dots \ W^1 \ W^0] \cdot H, \quad (9)$$

где $W = e^{A\delta}$ и $H = (I - e^{A\delta}) \cdot A^{-1} \cdot B$; δ — шаг квантования, I — единичная $(n \times n)$ -матрица. В формуле (9) знак $(\cdot)$ означает выполнение операции поэлементного умножения на вектор-столбец H .

Согласно (8) на шаге N при $\delta = 1$, то есть в момент $t = t_N$, вектор состояния $X(t_N)$ является функцией вектора начальных условий $X(t_0)$ и управлений $U = [U_0, U_1, \dots, U_{N-1}]^T$, приложенных к системе в моменты квантования. Для перевода динамического объекта из состояния $X(t_0)$ в состояние $X(t_N) \neq 0$ требуется получить вектор U с помощью соотношения

$$U = K_r \cdot (X(t_N) - W^N \cdot X(t_0)). \quad (10)$$

Из (10) следует, что если $N = n$, объект переводится из начального в конечное состояние за минимальное время. При этом квадратная матрица Крылова, имеющая полный ранг, должна инвертироваться. Если же $N > n$, переход осуществляется за N шагов по критерию минимума расхода энергии на управление. Матрица Крылова становится прямоугольной, и для получения наилучшей оценки вектора управления U можно воспользоваться операцией псевдоинверсии Мура–Пенроуза.

Случай приведения объекта в начало координат является частным и получается по формуле (10), если положить $X(t_N) = 0$. Если матрица A является особенной, то вычисление H следует производить путем численного интегрирования:

$$H(t - t_0) = \int e^{A(t-\tau)} B U(\tau) d\tau \quad (11)$$

по переменной τ .

Соотношениями (8)–(11) представлен алгоритм аperiodического управления судном с использованием матрицы Крылова, обеспечивающий минимум энергии на управление рулевым комплексом.

Для определения энергоэффективного управления по данному алгоритму разработана программа, представленная файлом sah289a.m в кодах MatLab. В файле содержатся матрицы состояния и управления двух моделей судна: в грузу и балласте. Переход к дискретной форме выполнен с шагом $\text{del} = 0.2$ с. Получена модель в пространстве состояний в терминах LTI. Предусмотрено управление дискретным аналогом модели пространства состояний в форме кусочно-постоянной функции на каждом шаге. Файл использован для моделирования переходных процессов с заданными граничными условиями. Число шагов $N = 60$.

% sah289a.m

% Уравнения динамики судна:

% Судно в грузу

A=[-0.298 -0.279 0;-4.370 -0.773 0;0 1 0]; B=[0.116 -0.773 0]';

% Судно в балласте

%A=[-0.428 -0.339 0;-2.939 -1.011 0;0 1 0]; B=[0.150 -1.011 0]';

```
C=[1 0 0;0 1 0;0 0 1]; D=[0 0 0];
%=====
% Шаг дискретности
del=0.2;
% Модель LTI:
V=ss(A,B,C,D);
Vd=c2d(V,del,'zoh');
Ad=Vd.a; Bd=Vd.b; Cd=Vd.c; Dd=Vd.d;
% Граничные условия
x0=[-0.05 -0.1 0.08]';
% x0=[0 -0.09 0.04]';
xN=[0 0 0]';
% Число шагов
N=60;
% МАТРИЦА КРЫЛОВА
Kr=gallery('krylov',Ad,Bd,N);
Kr=flipud(rot90(Kr,2));
KR=pinv(Kr);
% Оценка вектора управления с помощью
% матрицы Крылова:
Z=Ad^(N)*x0;
u=KR*(xN-Z);
% Моделирование системы:
[y,x]=dlsim(Ad,Bd,Cd,Dd,[u;0],x0);
% Графические построения:
tau=0:N; t=tau.*del;
plot(t',x,t',[u;0]*0.75,'.'),grid
```

Графики переходных процессов построены с помощью оператора plot с введением масштаба на координату управления, равного 0.75. На рис. 3 изображены графики вектора переменных состояния $X=[X(1) X(2) X(3)]'$ для судна в грузу. Вектор, обеспечивающий минимум энергии на управление объектом, представлен системой точек. На рис. 4 приведены аналогичные графики для судна в балласте.

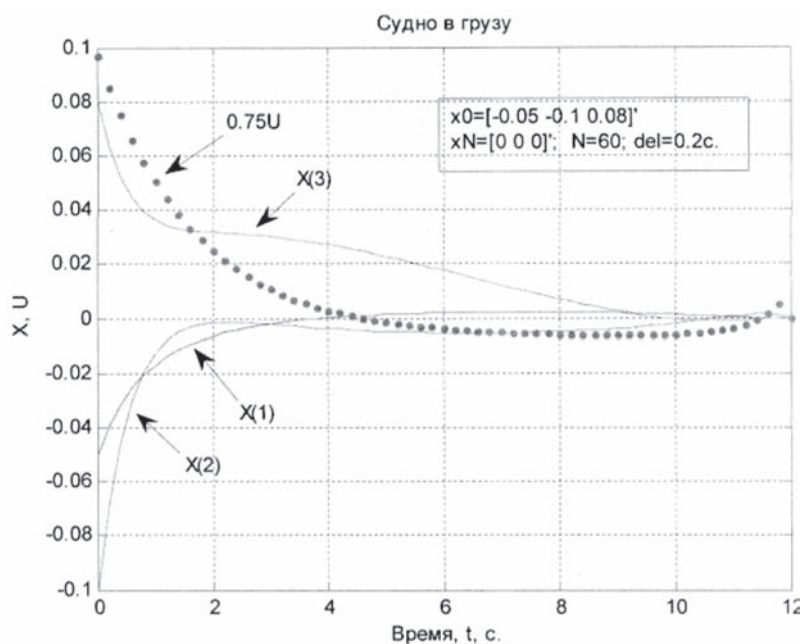


Рис. 3. Энергоэффективное управление судном в грузу

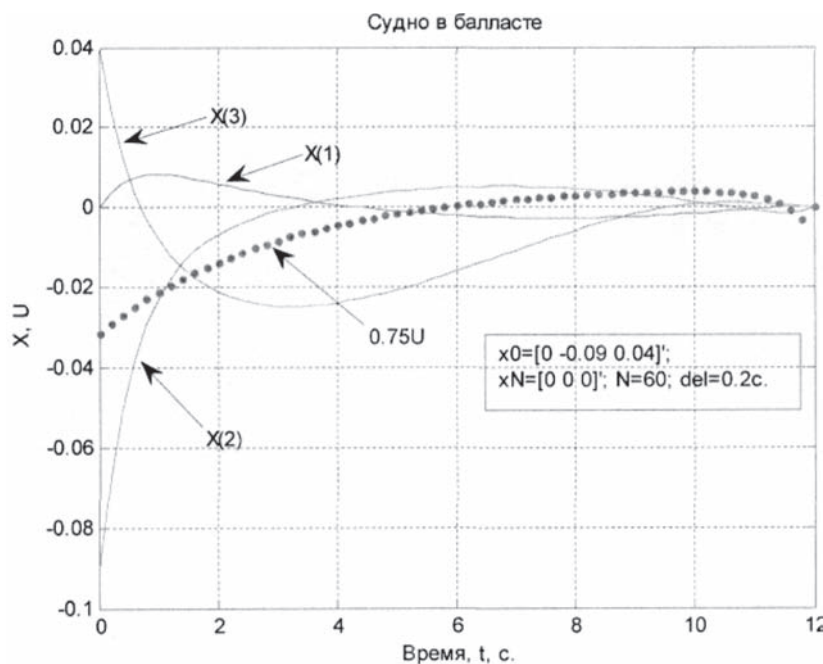


Рис. 4. Энергоэффективное управление судном в балласте

Заметим, что в спектрах матриц A_1 и A_2 содержатся положительные числа, то есть объект как в грузу, так и в балласте является неустойчивым. Вместе с тем алгоритм обеспечивает эффективный переход неустойчивого объекта из начального состояния в конечное на заданном временном интервале (см. рис. 3 и 4). Чтобы обеспечить минимизацию энергии на управление и сохранить устойчивость системы при высоких эксплуатационных показателях, следует использовать комбинированный регулятор, состоящий из двух частей: робастного регулятора и оптимизатора энергии на управление. Первый обеспечит устойчивость системы, второй регулятор — энергоэффективное управление при существенных отклонениях координат состояния от заданных значений в переходных режимах.

Список литературы

1. Веремей Е. И. Применение пакета NCD для решения задач модальной параметрической оптимизации / Е. И. Веремей, М. В. Коровкин // Проектирование систем автоматического управления и регулирования: тр. II науч. конф. — М., 2004. — Ч. 1.
2. Кондратьев С. И. Об использовании авторулевых для автоматического управления судами, идущими параллельными курсами / С. И. Кондратьев, А. В. Бачище, Д. В. Стрельников // Транспортное дело России. — М., 2003. — Спецвып.: Проблемы водного транспорта Российской Федерации.
3. Королев В. И. Робастная система управления судном на курсе / В. И. Королев, В. В. Сахаров // Транспортное дело России. — М., 2003. — Спецвып.: Проблемы водного транспорта Российской Федерации.
4. Лутков С. А. Управление маневром судна по критерию минимума расхода энергии / С. А. Лутков, В. И. Королев, В. В. Сахаров // ТРАНСКОМ-2004: материалы Междунар. науч.-техн. конф., 8–9 декабря 2004 г. — СПб., 2004. — С. 145–148.

5. Сахаров В. В. Применение матрицы Крылова для апериодического управления динамическими объектами / В. В. Сахаров, В. И. Королев // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2011. — Вып. 1 (9).

6. Сахаров В. В. Экономичные режимы работы генераторов электроэнергии на различных сортах топлива / В. В. Сахаров, Е. Н. Андрианов, В. И. Королев // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2011. — Вып. 4 (12).

УДК 621.3.053.4

Е. Н. Андрианов,

канд. техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

В. В. Сахаров,

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

А. Г. Таранин,

доцент,
ФГБОУ ВПО «Новороссийский государственный
морской университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова»

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ ПО ЭТАЛОННЫМ МОДЕЛЯМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕЙВЛЕТОВ

SHIP DIESEL WORKING PROCESS DIAGNOSTING WITH STANDARD MODELS AND WAVELET TECHNIQUES APPLICATIONS

Рассматривается способ диагностирования рабочего процесса судового дизеля в рейсе по инвариантам, установленным по эталонным моделям с применением вейвлетов. Для квазистатических режимов способ применен на танкере дедвейтом 66881 р. т с целью функционального диагностирования главного двигателя судна MITSUI B&W 6L80GFCA. Эффективная мощность двигателя 11 900 кВт (16 180 л. с.). Завод-изготовитель: MITSUI Engineering and shipbuilding Co., LTD.

Ship diesel working process diagnostic mode is considered. Invariants in trip are defined by standard models with wavelet tools applications. The mode is applied to functional diagnostics of MITSUI B&W 6L80GFCA ship diesel in sea tanker of 66881 register tons. Diesel effective power is 11900 kW (16180 HP). Diesel-building plant is MITSUI Engineering and shipbuilding Co. LTD.

Ключевые слова: функциональное диагностирование, судовый дизель, сплайн-аппроксимация, интерполяция, ряды Фурье, вейвлет, квазистатический режим.

Key words: functional diagnosis, ship diesel, spline approximation, interpolation, Fourier's ranks, wavelet, quasistatic mode.



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ эффективность судна непосредственно зависит от технического состояния главных и вспомогательных двигателей, являющихся основными потребителями топлива в рейсе. Поэтому их функциональному диагностированию, то есть проверке правильности функционирования в процессе выполнения ими основных технологических операций по назначению, всегда уделялось большое внимание.

При диагностировании судового дизеля необходимо выполнять проверку исправности, работоспособности и правильности его функционирования. Исправный объект характеризуется от-

сутствием дефектов при соблюдении всех требований нормативно-технической документации. Проверка работоспособности состоит в анализе правильности выполнения требуемых технологических функций на всех режимах работы с сохранением заданных значений параметров и признаков в допустимых областях работоспособности. Проверка правильности функционирования производится в рабочем режиме в данный момент времени при конкретном рабочем входном сигнале. Достоинством проверки во время функционирования объекта является оперативность получения информации о возможных отклонениях его характеристик от величин, определенных допустимой областью работоспособности, о приближении к граничным значениям этой области с целью исключения возможности перехода объекта в неисправное состояние. Даже при невысокой полноте контроля такая проверка целесообразна для динамических объектов и систем, находящихся длительное время в эксплуатации в режимах, близких к установившимся.

Автоматизированные установки главных и вспомогательных дизелей сухогрузных судов, танкеров, газовозов, контейнеровозов, ледоколов, буксиров-толкачей, высокопроизводительных судов технического флота, как правило, оборудуются электронными микропроцессорными системами для измерения рабочих параметров дизелей в различных условиях эксплуатации. Такие системы для крупных судов выпускаются фирмами “NORCONTROL”, “AUTRONIC” и другими и предназначены для оценки основных показателей, характеризующих механическую и тепловую напряженность судовых дизелей во время эксплуатации. Измерениям подлежат давление сжатия в цилиндрах дизеля, давление сгорания, давление расширения, среднее индикаторное и эффективное давление, температура выпускных газов, индикаторная и эффективная цилиндровая мощность. Оценивается механический КПД двигателя. Выполняются графические построения индикаторных диаграмм.

Однако вышеуказанные системы не обеспечивают комплексного анализа технического состояния дизелей, в частности топливной аппаратуры, цилиндропоршневой группы, турбонаддува, системы газовыпуска и др. К тому же до настоящего времени судовые главные и вспомогательные ДВС (более 35 % от всего состава мирового флота) еще не оборудованы электронными микропроцессорными системами и техническими средствами для функционального диагностирования, параметрической идентификации моделей, измерения нагрузки и выполнения других технологических операций. Поэтому способы диагностирования технического состояния судовых дизелей в условиях эксплуатации приходится непрерывно совершенствовать путем выбора совокупности надлежащих диагностических признаков, удовлетворяющих требованиям измерений, информативности и инвариантности. Требуется создание более совершенных алгоритмических структур и устройств для параметрической оценки измеряемых сигналов на базе теории идентификации с использованием эталонных значений диагностируемых параметров, полученных по результатам стендовых испытаний, буксировочным характеристикам, испытаниям гребного винта в свободной воде и тому подобного с окончательной проверкой и коррекцией инвариант на ходовых испытаниях.

Создание высокоточных моделей отдельных процессов и элементов, являющихся составными частями полной (общей) модели ДВС, играет определяющую роль в обеспечении высокой степени адекватности качества численного моделирования. Эксперимент является наиболее важным средством оценки достоверности реализуемой системы моделей и корректности алгоритмических решений. В процессе численного моделирования учитывается специфика технологических процессов преобразования тепловой энергии в механическую работу, характерная для конкретного объекта. Модель объекта реализуется при наличии информации о конструктивных параметрах, параметрах настройки, характеристиках внешней среды. Наиболее наукоемкой частью моделирования является решение инверсной задачи динамики и получение искомых периодических процессов в цилиндрах двигателя при заданном порядке их работы, определение параметров наддува на основе балансировки мощности агрегатов воздухообеспечения, а также процессов в выпускном коллекторе и газовой турбине на различных режимах. Сравнительная оценка результатов моделирования с экспериментом проводится также для согласования и оцен-

ки параметров уравнений сгорания топлива, теплопередачи и других моделей, основанных на эмпирических зависимостях.

Построение и реализация высокоточных алгоритмов аппроксимации экспериментальных характеристик, позволяющих значительно уменьшить погрешность моделирования, существенно упрощают вычислительные процедуры оценки параметров, поскольку допускают получение производных от переменных состояния с помощью функций различных вычислительных сред при малом уровне помех. Например, с помощью пакета функций сплайн-аппроксимации возможно реализовать интерполяционные процедуры, базирующиеся на свойствах минимальной кривизны интерполяционной характеристики, точно проходящей через узлы интерполяции при обеспечении равенства производных слева и справа от каждого узла. В результате путем построения сплайна от сплайна можно также получить малую погрешность в оценке второй производной. При наличии производных и значений сигналов далее нетрудно получить переопределенную систему уравнений, линейных относительно искомых параметров модели, и с помощью метода наименьших квадратов решить инверсную задачу динамики.

В настоящее время для получения индикаторных диаграмм наряду с механическими индикаторами широко используются электронные системы контроля рабочего процесса дизеля, которые могут применяться в составе судовых диагностических комплексов. В работе [4, с. 30–33] показано, что в спектре сигнала давления в цилиндре двигателя могут содержаться высокочастотные гармонические составляющие. Эти составляющие плохо воспроизводятся при аппроксимации характеристик с помощью ортогональных полиномов, в частности рядов Фурье. Во временной области им соответствуют отдельные импульсы, а также сигналы небольшой продолжительности.

Исследования показали, что на результаты индицирования дизеля могут существенно влиять динамические характеристики самого индикаторного канала. Поскольку давление газов в цилиндре передается к датчику по индикаторному каналу, то собственная частота канала зависит не только от его геометрических параметров, но и от режима работы двигателя. Колебания, возникающие в индикаторном канале, значительно искажают сигнал и, следовательно, вносят погрешность в определение показателей рабочего процесса [4].

Следует отметить, что проблема, связанная с применением индикаторов как динамических объектов в процессе эксплуатации судовых машин и механизмов, была ранее рассмотрена в классических трудах академика А. Н. Крылова [3, с. 278–297]. Исследуя перемещения поршня механического индикатора под действием давления пара, он не только обнаружил погрешности показаний прибора, но и установил правило устранения этих погрешностей: для правильности показаний индикатора необходимо, чтобы период основного колебания его пружины вместе с поршнем был мал по сравнению с продолжительностью нарастания давления. Процессы же, протекающие в индикаторных каналах и имеющие периодический характер, в момент нахождения поршня двигателя в зоне верхней мертвой точки аналогичны тем, которые исследовал А. Н. Крылов при определении продольных колебаний ствола орудия — морской 4-дюймовой пушки 60-го калибра.

В работе [4] приведены рекомендации по устранению погрешностей индицирования, выраженные в терминах частоты вращения вала двигателя, а в случае применения рядов Фурье для аппроксимации периодической кривой изменения давления в цилиндре двигателя предложено использовать индикаторный канал в форме низкочастотного фильтра с полосой пропускания не менее 20 гармоник основной частоты, равной частоте вращения вала двигателя.

Содержание в составе аппроксимируемых кривых во временной области импульсных сигналов и сигналов прямоугольной формы (меандров) приводит к большой погрешности их восстановления путем суммирования гармонических составляющих, ввиду проявления эффекта Гиббса. Фурье-синтез прямоугольных функций показал, что волнообразные колебания на левой и правой границах сигнала прямоугольной формы сохраняются при числе гармоник, превышающих несколько тысяч. Сигналы в виде кратковременных импульсов с помощью Фурье-анализа практически не обнаруживаются. Последнее означает, что, например, при ударе гребного винта о небольшую льдину или иной твердый предмет импульсный сигнал не будет идентифицирован даже при нали-

чии безынерционного датчика информации. Иначе говоря, с помощью рядов Фурье весьма трудно обеспечить возможность обнаружения локальных особенностей сигналов и функций. Иррегулярные функции, частотные и масштабные характеристики которых эволюционируют во времени, не могут быть адекватным образом представлены с помощью бесконечного числа гармоник. На практике же очень важно локализовать моменты разладок, соответствующие изменениям этих характеристик.

Для получения высокой точности воспроизведения измеряемых сигналов следует использовать математический аппарат приближения функций, свободный от указанных недостатков, в частности вейвлеты и вейвлет-преобразования [1].

Вейвлет-анализ и полученные по его результатам спектрограммы составляют инструмент исследования сигналов с локальными особенностями, не обязательно обладающих свойствами периодичности и стационарности. Этот аппарат позволяет легко определять местоположение локальных особенностей в амплитудно-временной области, что практически невозможно выполнить при спектральном анализе Фурье.

Числом используемых при разложении сигнала вейвлетов задается уровень декомпозиции сигнала. Точность представления сигнала по мере перехода на более низкие уровни декомпозиции снижается, но зато улучшаются условия его обработки [5, с. 313–323].

Процедуры вейвлет-анализа сигналов предусматривают их разделение на две составляющие: аппроксимирующую (грубую) и детализирующую (утонченную). Каждый шаг разделения соответствует определенному уровню декомпозиции и восстановления сигнала, которые могут производиться как во временной, так и в частотной областях. В среде MatLab принят ниспадающий порядок следования («дерево») коэффициентов, дающий улучшение приближения в процессе реконструкции сигнала. Чем меньше номера коэффициентов, тем ближе реконструированный сигнал к оригиналу.

Рассматривается способ диагностирования рабочего процесса судового дизеля в рейсе по инвариантам, установленным по эталонным моделям с применением вейвлетов. Вейвлет-преобразование изменения давления выполним в кодах MatLab с помощью файла sah568f.m.

```
% sah568f.m
% Вейвлет-диагностика.
%=====
% Давление в цилиндре двигателя.
% =====
% Исходные данные представлены матрицей Z размерности (73x2), где
% в первом столбце содержится угол (в градусах), а во втором - давление
% в цилиндре двигателя (бар), соответствующее каждому значению угла
% поворота коленчатого вала.
load Z
% Сплайн-аппроксимация столбцов матрицы Z.
fi=-160:0.5:200;
Pcs=spline(Z(:, 1 ),Z(:, 2), fi 1);
% Формирование рабочего цикла:
fi=-160:0.5:200;
% Вектор P размерности (1x720)
P=[Pcs];
% РЕЖИМ ДИАГНОСТИКИ
% Наложение на эталонный сигнал P аддитивного сигнала, содержащего
% шум с равномерным распределением :  $y=(b-a)*x+a$ . Здесь b - верхняя
% граница сигнала, a - нижняя граница, x - стандартный сигнал равномерного
% распределения со средним 0.5 и границами (0,1). Шум наложен на три
% элемента вектора P с номерами (501, 502 и 503). Импульс с амплитудой 3.0
```



```
%наложен на элемент вектора 604, что следует из записи f.
a=l;b=3;
% Наложение "помехи" на "эталонный" сигнал
f=[zeros(1,500) (b-a)*rand(1,3)+a zeros(1,100) 3.0 zeros(1,117)];
P=P+f;
v=size(P);
% Обозначения:
s=P(1:v(2));
l_s= length(s);
% Трехступенчатая форма разложения s по схеме Sm3=A3+D1+D2+D3:
% Первый уровень аппроксимации.
% Разложение s=P на вейвлет-компоненты по схеме Sml=A1+D1
% Вейвлет-функция dbl из группы вейвлетов Добеши:
[cA1,cD1] = dwt(s,'dbl');
A1 = upcoef('a',cA1,'dbl',1,l_s);
D1 = irpcoe^',cO1,'aBГ,1,1_8);
A1 = idwt(cA1,[],'dbl',l_s);
D1=idwt([],cD1,'dbl',f_s);
% Вейвлет-реконструкция сигнала первого уровня.
Sml=idwt(cA1,cD1,'dbl',l_s);
% Максимум абсолютного значения ошибки аппроксимации первого уровня:
err = max(abs(s-Sml));
% Второй и третий уровни аппроксимации.
[C,L] = wavedec(s,3,'dbl');
cA3 = appcoef(C,L,'dbl',3);
cD3 = detcoef(C,L,3);
cD2 = detcoef(C,L,2);
cD1 = detcoef(C,L,1);
[cD1,cD2,cD3] = detcoef(C,L,[1,2,3]);
A3 = wrcoef('a',C,L,'dbr',3);
D1=wrcoef('d',C,L,'dbl',1);
D2 = wrcoef('d',C,L,'dbl',2);
D3 = wrcoef('d',C,L,'dbl',3);
Sm3 = waverec(C,L,'dbl');
err = max(abs(s-Sm3))
% Для рассматриваемого процесса получен результат:
%err = 4.9738e-014.
% Оценка детализирующих коэффициентов на трех уровнях:
subplot(3,1,1); plot(fi,D1);grid; 11ie('Уровень детализации 1');
%axis off
subplot(3,1,2); plot(fi,D2);grid; 11ie('Уровень детализации 2');
%axis off
subplot(3,1,3); plot(fi,D3);grid; 11ie('Уровень детализации 3');
pause
% Графические построения исходной кривой P
% давления газов в цилиндре и вейвлет-модели Sm:
[thr,sorh,keepapp] = ddencmp('den','wv',s);
Sm = wdencmp('gbr,C,L,'dbl',3,thr,sorh,keepapp);
subplot(2,1,1); plot(fi,P);grid; иИе('Оригинал')
subplot(2,1,2); plot(fi,Sm);grid; 11ie('Вейвлет-модель')
```

Экспериментальные данные в виде вектора Z размерности (73×2) содержат в первом столбце угол (в градусах), а во втором — давление в цилиндре дизеля (бар), соответствующие каждому значению угла поворота коленчатого вала [2]. Их аппроксимация на одном рабочем цикле осуществлена с помощью сплайна с шагом дискретности 0.5° . Затем восстановлен рабочий цикл (при угле поворота $\varphi_i = -160:0.5:200$ градусов) с вектором исходных данных давления P размерности (1×721) . Для решения задачи диагностики на «эталонный» сигнал P аддитивно наложен сигнал, содержащий шум с равномерным распределением: $y = (b-a) \cdot x + a$. Здесь b — верхняя граница сигнала, a — нижняя граница, x — стандартный сигнал равномерного распределения со средним 0.5 и границами (0,1). Шум наложен на три элемента вектора P с номерами (501, 502 и 503). Дополнительно для создания помехи сгенерирован импульс с амплитудой 3.0 (элемент вектора 604), что следует из записи f (см. файл `sah568f.m`).

Вектор P разложен на вейвлет-компоненты по схеме $S_{m1} = A1 + D1$, где $A1$ — аппроксимирующая и $D1$ — детализирующая составляющие первого уровня аппроксимации. При разложении применен вейвлет `db1` из группы вейвлетов Добеши:

$$S = P,$$

$$[cA1, cD1] = \text{dwt}(S, 'db1'),$$

где оператор `dwt` использован для расчета вектора аппроксимирующих коэффициентов `cA1` и вектора `cD1` детализирующих коэффициентов путем декомпозиции вектора S с помощью `db1`. Для реконструкции коэффициентов применена функция `upcoef`. Синтаксис функции:

$$Y = \text{upcoef}(0, X, 'wname', N, L),$$

где Y — коэффициенты, 0 — вид аппроксимации (0='a' — аппроксимация, 0='d' — детализация), X — аппроксимируемый вектор, N — уровень аппроксимации, L — расстояние по оси абсцисс, 'wname' — наименование используемого вейвлета. В файле эта операция представлена следующими зависимостями:

$$A1 = \text{upcoef}('a', cA1, 'db1', 1, l_s).$$

Одноуровневое обратное дискретное вейвлет-преобразование сигнала давления S в файле выполнено с помощью функции `idwt`. На рис. 1 представлены исходная характеристика и характеристика вейвлет-модели

$$S_{m1} = \text{idwt}(cA1, cD1, 'db1', 1, l_s),$$

которая фактически воспроизводит эксперимент.

Оценка максимума абсолютного значения разности векторов модели и эксперимента равна

$$\text{err} = \max(\text{abs}(S - S_{m1})) = 2.1316 \cdot 10^{-14}.$$

Выполнение второго и третьего уровней аппроксимации по схеме

$$S_{m3} = A3 + D1 + D2 + D3$$

позволило получить оценку ошибки

$$\text{Err} = \max(\text{abs}(s - S_{m3})) = 4.9738 \cdot 10^{-14}.$$

Заметим, что такую малую оценку погрешности невозможно получить с помощью других методов разложения аппроксимируемой характеристики давления P на составляющие.

В приведенном файле предусмотрены графические построения коэффициентов вейвлет-декомпозиции сигнала давления в цилиндре дизеля на всех уровнях. На рис. 1 приведены графики коэффициентов для трехуровневого разложения.

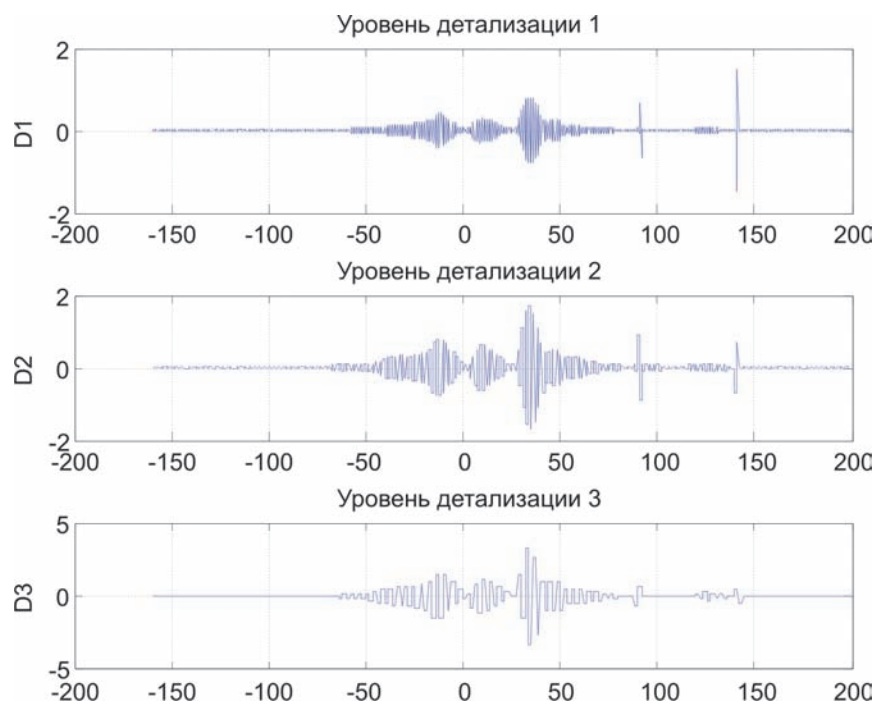


Рис. 1. Коэффициенты вейвлетов на трех уровнях детализации

Рассмотрим теперь режим диагностирования. На рис. 2 представлены две характеристики: эксперимент (верхний график) и его вейвлет-модель (нижний график).

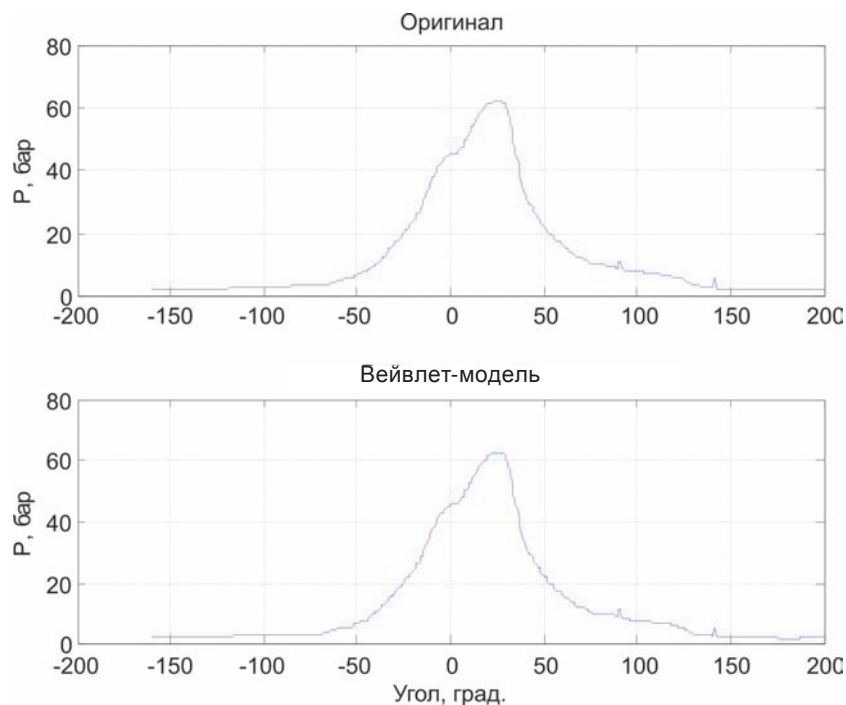


Рис. 2. Эксперимент (верхний график)
и вейвлет-модель диагностируемой характеристики (нижний график)

Видно, что вейвлет-модель точно воспроизводит экспериментальную характеристику и восстанавливает отдельные возмущения в виде кратковременных импульсов, воздействующих на

диагностируемый объект. Эти возмущения практически невозможно восстановить с помощью рядов Фурье и других частотных методов разложения периодических сигналов.

В квазистатических режимах, при отсутствии в составе экспериментальных данных помех в виде кратковременных импульсов, высокоточные процедуры аппроксимации можно реализовать, используя численные методы аппроксимации с высокими разрешающими свойствами. При этом необходимо, чтобы индикаторная диаграмма практически совпадала с расчетной кривой на всех режимах работы дизеля. Тогда при нормальном техническом состоянии судовой дизельной установки с помощью моделей аппроксимации на каждом режиме можно образовать группы массивов «эталонных» индикаторных диаграмм и хранить их в форме полученных оценок коэффициентов.

При кластерной оценке экспериментально определенных коэффициентов представляется возможным иметь «эталонные» множества, где кластеры могут считаться инвариантами, между которыми, в свою очередь, устанавливается связь, позволяющая интерполировать параметры «эталонной» модели на множестве «эталонных» режимов.

Аналогичные модели можно построить по измерениям температуры газов перед турбиной, давления в коллекторе. В результате инвариантные множества параметров оценки могут быть непосредственно использованы в диагностической модели рабочего процесса дизеля. При возникновении искажений индикаторной диаграммы вследствие потери герметичности выпускных клапанов, из-за износа компрессионных колец поршня, ухудшения работы топливной аппаратуры либо повреждений движительного комплекса судна изменяется форма индикаторной диаграммы и, как следствие, параметры модели аппроксимации. Смещение параметров за пределы границ, определенных кластером, служит диагностическим признаком возникновения неисправностей в работе СЭУ.

Способ диагностирования рабочего процесса судового дизеля по инвариантам, установленным по эталонным моделям, был апробирован и применен на главном двигателе MITSUI B&W 6L80GFCA (завод-изготовитель MITSUI Engineering and shipbuilding Co., LTD). Двигатель установлен на нефтеналивном судне дедвейтом 66 881 р. т. Построечная скорость судна в грузу 15,68 уз. при номинальных оборотах вала двигателя $n_{\text{НОМ}} = 97\%$ от $n_{\text{МАХ}} = 102$ об/мин. Эффективная эксплуатационная мощность двигателя 11 900 кВт (16 180 л. с.).

Способ включает операции индицирования главного двигателя с записью параметров работы в целом и обслуживающих его систем (MEPERFORMANCEDATA), алгоритм и математическую модель обработки эксперимента и совершенствования технологических операций по оценке технического состояния.

Алгоритм и математическая модель использованы для повышения точности аппроксимации площадей индикаторных диаграмм с последующими оценками технического состояния топливной аппаратуры, условий функционирования цилиндропоршневой группы, системы турбонаддува и др.

Погрешность при обработке индикаторных диаграмм всех цилиндров на различных режимах была уменьшена за счет применения программы WINDOWS 2003 — EXE. Индицирование проводилось в рейсах на судне в течение семи месяцев — с апреля по октябрь 2011 г.

Способ использован для построения диаграмм, предназначенных для определения среднего индикаторного давления (по цилиндрам), зависимости максимального давления сгорания от среднего индикаторного давления, давления сжатия от среднего индикаторного давления. Получена диаграмма для оценки режимов функционирования турбоагнетателя. Математическая модель обработки данных и алгоритм вычислений представлены математическими соотношениями, предназначенными для приведения рабочих параметров дизеля в период эксплуатации к эталонным значениям, что позволило диагностировать техническое состояние двигателя в целом. В результате модельная и алгоритмическая оценки качества технологических операций элементов и систем дизеля позволили судовой команде оперативно и целенаправленно восстанавливать требуемые показатели рабочего процесса дизеля во время рейса, осуществлять мониторинг технического состояния судового энергетического комплекса.

Список литературы

1. Дьяконов В. П. Вейвлеты. От теории к практике / В. П. Дьяконов. — М.: СОЛОН-Р, 2002. — 448 с.
2. Иванченко Н. Н. Высокий наддув дизелей / Н. Н. Иванченко, О. Г. Красовский, С. С. Соколов. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. — 198 с.
3. Крылов А. М. Собрание трудов академика А. Н. Крылова / А. М. Крылов. — М.; Л., Изд-во АН СССР, 1948. — Т. X: Вибрация судов, § 55.2.
4. Самойленко А. Ю. Влияние индикаторного канала на результаты индицирования судового дизеля / А. Ю. Самойленко // Транспортное дело России. — М., 2003. — Спецвып.: Проблемы водного транспорта Российской Федерации.
5. Сахаров В. В. Вейвлет-аппроксимация изменения давления в цилиндре дизеля / В. В. Сахаров, В. И. Королев, А. А. Евсюков // Исследование, проектирование и эксплуатация судовых ДВС: тр. II Междунар. науч.-техн. семинара, 27 сентября 2007 г. — СПб.: СПГУВК, 2008.

УДК 621.311.1

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

А. В. Луканин,
канд. техн. наук, доцент
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

THEORETICAL BASIC OF SHIP ELECTRICAL POWER SYSTEM CONTROLLABILITY AND ITS ELEMENTS

В статье рассмотрены вопросы представления судовой электроэнергетической системы с помощью логической модели, представлены функциональная, структурная и формализованная схемы, проводится анализ характера функционирования элементов и блоков судовой электроэнергетической системы.

In the article there are considered questions of ship electrical power system presentation by logical model, there are presented functional, structural and formalized schemes, there is given an analysis of functionality character of ship electrical power system elements and blocks.

Ключевые слова: судовой электроэнергетическая система, электрооборудование, контролепригодность.
Key words: ship electrical power system, electrical equipment, controllability.

В СООТВЕТСТВИИ с рекомендациями, изложенными в [1, с. 63–67], рассмотрим основные аспекты разработки теоретических основ анализа контролепригодности (КП).

Судовая электроэнергетическая система (СЭЭС) представляет собой систему, состоящую из логически и функционально взаимосвязанных блоков (генераторных агрегатов, секций главных распределительных щитов (ГРЩ), электростанции (ЭСТ), отсечных распределительных щитов, устройств переключения электропитания и т. д.), для процесса функционирования которой можно построить граф причинно-следственных связей. В связи с этим наиболее целесообразным

для анализа контролепригодности такой системы является построение специальной логической модели [2; 3], однозначно соответствующей графу причинно-следственных связей.

Рассмотрим основные этапы построения такой логической модели объекта контроля (ОК). Представим СЭЭС как объект контроля непрерывного действия, состоящий из N связанных между собой компонентов (генераторных агрегатов, ГРЩ, ЭСТ и т. д.) (рис. 1). Состав этих компонентов, связи между ними и внешние связи с другими судовыми системами и комплексами образуют структуру СЭЭС, формализованно соответствующую структурно-функциональной схеме на рис. 1.

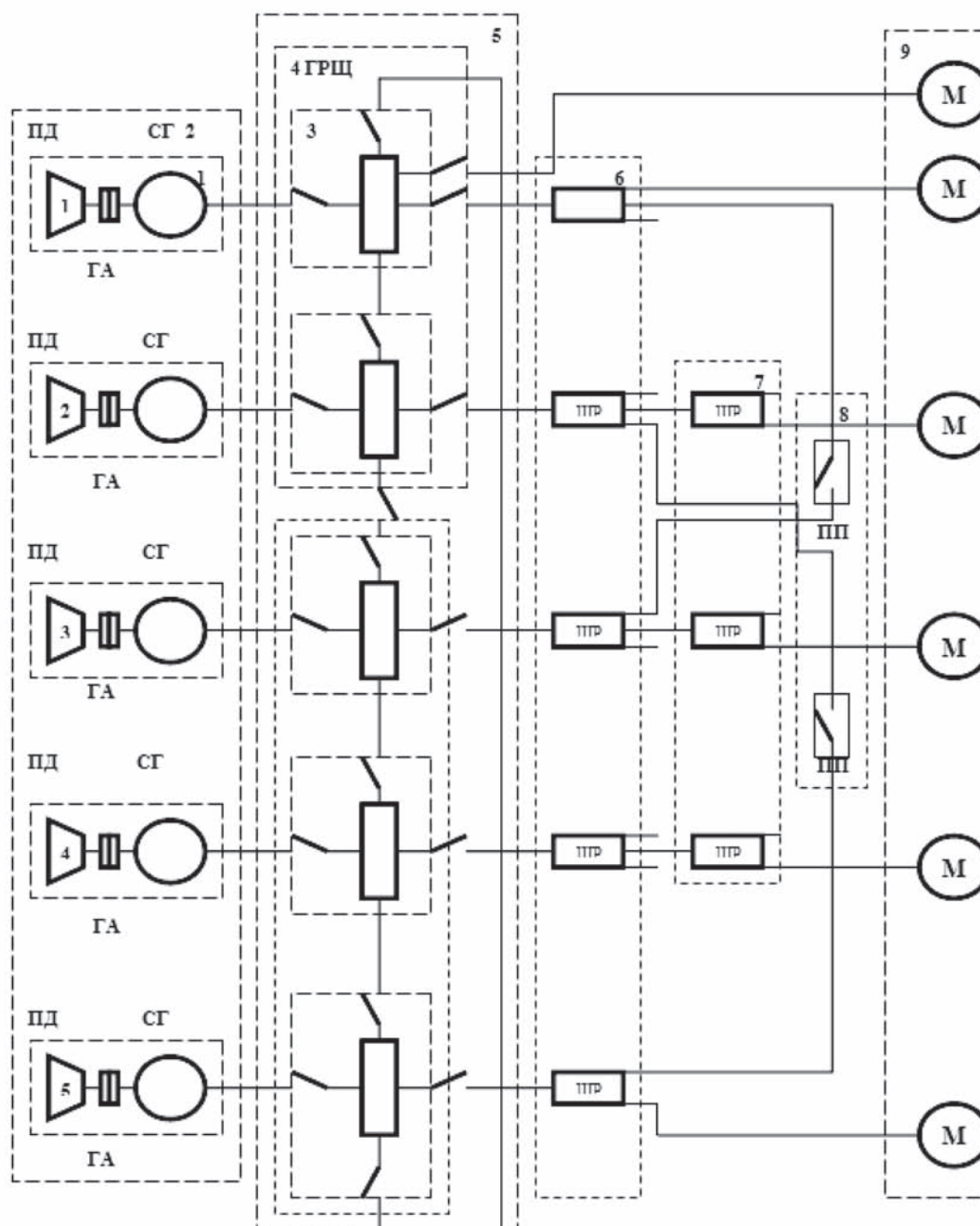


Рис. 1. Блочная структура СЭЭС, где:

- 1 — генераторные агрегаты; 2 — блоки генерирования электроэнергии (ЭЭ);
- 3 — секция ГРЩ; 4 — ГРЩ; 5 — система генерирования ЭЭ;
- 6 — первый уровень распределения ЭЭ; 7 — второй уровень распределения ЭЭ;
- 8 — система резервирования электропитания потребителей ЭЭ;
- 9 — система потребления ЭЭ

Для простоты формализованного описания будем называть компоненты структуры СЭЭС блоками. Для каждого блока в структурно связанной системе можно установить входные и выходные сигналы. Например, в системе генерирования электроэнергии СЭЭС для блока «генераторный агрегат» в качестве выходных сигналов можно выделить напряжение генератора, его частоту, ток активной нагрузки и $\cos\varphi$, а в качестве входного сигнала — мощность и частоту вращения первичного двигателя, ток возбуждения генератора. Каждый входной и выходной сигнал характеризуется одним или несколькими параметрами. Так, например, возбуждение генератора характеризуется напряжением и током возбуждения. В этом случае целесообразно каждый из таких параметров представлять отдельным входом (выходом) блока.

Обозначим внешние входы блока P_i , независимые от других блоков, символами $x_{i1}, \dots, x_{ini}$, а входы от других блоков — $y_{i1}, \dots, y_{iki}$, выходы блока — символами $z_{i1}, \dots, z_{ikj}$.

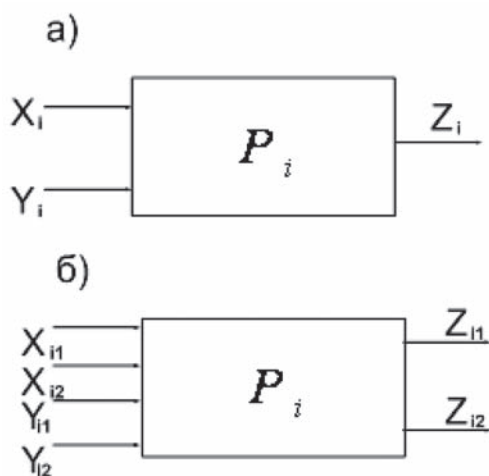


Рис. 2. Структурная схема сигналов и параметров блоков логической модели системы

Таким образом, первым этапом построения логической модели является выделение блоков системы, их сигналов и параметров, определяющих их структурно-функциональные связи (рис. 2).

Пусть блок P_i имеет два входа x_i и y_i и один выход z_i (рис. 2, а), каждый из которых характеризуется двумя физическими параметрами (к примеру, амплитудой и частотой электрического напряжения или тока), причем в соответствии с этим выделяются два выхода z_{i1}, z_{i2} (рис. 2, б). Таким образом, на основании анализа физической сущности процессов функционирования блоков осуществляется процедура декомпозиции функциональных связей между ними, суть которой состоит в следующем: если некоторый выход z_i блока P_i декомпозируется на несколько выходов z_{ij} , то вход y_k также декомпозируется на такое же число входов y_{ki} . Выполнение этой процедуры «расщепления» входов и выходов составляет содержание второго этапа построения логической модели КП объекта контроля.

Следующим этапом построения модели является разработка функциональной схемы системы соединением соответствующих друг другу «расщепленных» входов и выходов блоков системы. В ряде случаев структурная и функциональная схемы могут совпадать или задаваться заранее в зависимости от характера решаемых задач анализа или синтеза. В связи с этим при построении функциональной схемы декомпозиция или «расщепление» может выполняться частично или не выполняться вовсе.

Анализ характера функционирования элементов и блоков энергетической системы показывает, что для всех блоков можно определить области допустимых и недопустимых значений входных и выходных параметров. Обычно для установившихся режимов существуют верхние и нижние значения (уставки) параметров. Для неустановившихся режимов функционирования СЭЭС области допустимых значений, параметров задаются с учетом их изменений во времени. Таким образом, можно ввести в рассмотрение логическое высказывание: «значение входа (выхода) $x(y)$ допустимо», если оно принадлежит допустимой области, и «значение входа (выхода) $\bar{y}$ ($\bar{x}$) недопустимо», если оно принадлежит недопустимой области. Тогда символы входов и выходов можно считать обозначениями двоичных логических переменных, значения которых принимают 1 (истинно) или 0 (ложно) соответственно принадлежности значений параметров допустимым или недопустимым значениям.

При наличии нескольких входов в блоке можно установить наборы допустимых значений входных переменных блока P_i и определить набор значений определенного выхода z_{ij} , принимаю-

щих в рассмотренном выше смысле логические значения 1 или 0. В этом случае можно говорить о логической функции условий функционирования блока P_i по выходу z_{ij} , которую обозначим символом F_{ij} . Очевидно, всякую булеву функцию можно записать в виде совершенной дизъюнктивной нормальной формы, а затем известными методами преобразовать в минимальную форму, в которой все входящие в нее символы существенны. Следовательно, появляется метод формального преобразования, в результате реализации которого для каждого из выходов $z_{i1}, \dots, z_{ik}$ блока P_i определяется совокупность существенных (для данного выхода) входов. Рассмотренные операции формализованного представления СЭЭС логической моделью составляют содержание заключительного этапа построения логической модели системы или любого объекта в целом (рис. 3).



Рис. 3. Формализованная схема построения логической модели системы для анализа ее контролепригодности

$\{N_1, \dots, N_h\}$. Очевидно, если все блоки имеют по одному входу, каждый из которых характеризуется одним физическим параметром, логическая модель будет совпадать с функциональной схемой объекта.

К числу основных условий построения правильной логической модели необходимо отнести следующие:

— для любой пары блоков N_i и N_j , у которых выход z_i блока N_i является входом y_j блока N_j , области допустимых значений y_j и z_i должны соответственно совпадать;

Формализованная схема построения логической модели системы для анализа ее контролепригодности включает в себя следующие этапы:

1) декомпозиция системы на структурные и функциональные блоки;

2) выявление внешних входов для каждого блока и их выходов;

3) декомпозиция («расщепление») функциональных связей (входов–выходов) блоков структуры системы в зависимости от характера задач синтеза и анализа контролепригодности;

4) разработка функциональной схемы на основе результатов «расщепления» функциональных связей;

5) определение области допустимых и недопустимых значений входных и выходных параметров блоков;

6) определение логических функций условий функционирования блока F_{ij} по входу Z_{ij} с учетом существенных входов x_1, y_1 .

Итак, для построения логической модели любого объекта необходимо:

— на основе заданной структуры системы (объекта) выделить блоки P_i функциональной схемы;

— заменить каждый блок функциональной схемы P_{iki} блоками, каждый из которых имеет один выход z_{ij} и существенные для данного выхода входы;

— обозначить блоки логической модели символами $N_1, \dots, N_h$, где $h = \sum_{i=1}^M k_i$, и выделить для каждого исходного блока в функциональной схеме подмножество блоков логической модели из множества

— для любой пары блоков логической модели N_i и N_j , имеющих входы u_i и u_j , характеризующихся одним и тем же параметром, область недопустимых значений этого параметра должна быть одной и той же;

— все блоки, охваченные в структуре обратными связями, должны быть заменены эквивалентными без обратных связей либо обратные связи должны быть исключены.

Следует отметить, что все блоки СЭЭС представляют собой устройства непрерывного действия, для которых функция условий работы блока F_{ij} является монотонной, а минимальная форма — единственной, не содержит переменных с отрицанием, а при допустимых значениях набора существенных входных переменных F_{ij} всегда принимает значение 1. В самом простом случае функция F_{ij} является конъюнкцией входных переменных без отрицаний.

Список литературы

1. Каракаев А. Б. Основные методические вопросы анализа и синтеза контролепригодности систем сложной конструктивно-технической и организационной структуры на примере СЭЭС и ее элементов / А. Б. Каракаев, А. В. Луканин // Эксплуатация морского транспорта. — 2013. — № 2 (72).
2. Герцбах И. Б. Модели отказов / И. Б. Герцбах, Х. Б. Кордонский. — М.: Сов. радио, 1966. — 165 с.
3. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. — Офиц. изд. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 37 с.

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

УДК 539.384:629.12

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

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

К. О. Ломтева,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

РАСЧЕТ НА ИЗГИБ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПАНЕЛИ ОБШИВКИ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ РЕБРОМ ЖЕСТКОСТИ

CALCULATION OF THE BENDING OF A RECTANGULAR PANEL SHEETING WITH A CENTRAL RIB

В статье приведено решение задачи изгиба защемленной прямоугольной плиты с центральным ребром жесткости. Использован итерационный метод суперпозиции исправляющих функций в виде гиперболическо-тригонометрических рядов, дающий в пределе точное решение.

The article gives the solution of the problem of bending of a clamped rectangular plate with a Central rib. An iterative method of superposition of correcting functions in the form of hyperbolic-trigonometric series giving the exact solution in the limit is used.

Ключевые слова: защемленная пластина, обшивка, изгиб, ребро жесткости, итерационный метод, ряды Фурье, точное решение.

Key words: clamped plate, sheathing, bending, rib, iteration method, Fourier series, exact solution.



ПРОБЛЕМА определения напряженно-деформированного состояния обшивки судовых и гидротехнических конструкций (гидрозатворов, ворот шлюзовых камер и т. п.) под действием поперечной нагрузки весьма актуальна для инженерных расчетов. Особый интерес представляют элементы обшивки, подкрепленные ребрами жесткости.

Физическая модель задачи. Физической моделью элемента обшивки, заключенного между основным силовым набором, является защемленная по всем граням прямоугольная пластина постоянной толщины h . Пусть ее размеры $a \times 2b$ в плане, а ребро жесткости делит ее на два равных прямоугольника $a \times b$. Будем считать, что на пластину действует равномерное давление интенсивности q_0 . Ребро и пластина могут быть изготовлены из разных материалов. Обозначим $E_p I_p$ — жесткость ребра. Здесь E_p — модуль Юнга материала ребра; I_p — момент инерции сечения ребра. Если перейти к безразмерным координатам $x = X / b$, $y = Y / b$, то пластина будет иметь размеры $\gamma \times 2$, где $\gamma = a / b$. Согласно П. Ф. Папковичу [1], можно рассматривать половину пластины с разрезом по оси ребра (рис. 1).

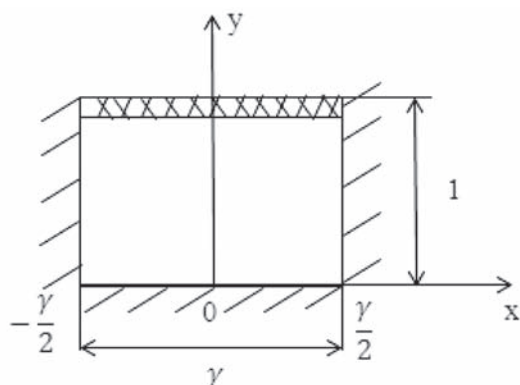


Рис. 1. Половина пластины
с разрезом по оси ребра

Рис. 1. Половина пластины с разрезом по оси ребра

Требуется определить прогибы (деформацию) пластины для любой точки срединной поверхности, а также соответствующие напряжения.

Математическая модель задачи. Требуется найти функцию $w(x, y)$, удовлетворяющую [1] дифференциальному уравнению изгиба:

$$\nabla^2 \nabla^2 w = -1 \quad (1)$$

и граничным условиям:

$$w|_{y=0} = 0; \quad \frac{\partial w}{\partial y}|_{y=0} = 0; \quad (2)$$

$$w|_{x=\pm \frac{\gamma}{2}} = 0; \quad \frac{\partial w}{\partial x}|_{x=\pm \frac{\gamma}{2}} = 0; \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial y}|_{y=1} = 0; \quad V_y^*|_{y=1} = - \left[\left(\frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} \right) - G \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} \right]_{y=1} = 0. \quad (4)$$

Здесь ∇^2 — двумерный оператор Лапласа; $w = \frac{W D}{q_0 b^4}$ — относительный прогиб; W — абсолютный прогиб; $D = \frac{E h^3}{12(1-\nu^2)}$ — цилиндрическая жесткость материала пластины; E — модуль Юнга материала пластины; ν — коэффициент Пуассона, $G = \frac{1}{2} \frac{E_p I_p}{b D}$ — относительная жесткость половины ребра.

Построение решения. Задачу будем решать итерационным методом суперпозиции исправляющих функций [2–4].

Частное решение уравнения (1), удовлетворяющее условиям отсутствия прогибов на защемленных краях, возьмем в виде многочлена четвертой степени:

$$w_0 = -\frac{1}{8} \left(x^2 - \frac{\gamma^2}{4} \right) (y^2 - 2y). \quad (5)$$

Функция (5) удовлетворяет также условиям (4) в продольном сечении ребра, однако порождает невязки по углам поворота в заделках:

$$\theta_{y0}|_{y=0} = \frac{\partial w_0}{\partial y}|_{y=0} = \frac{1}{4} \left(x^2 - \frac{\gamma^2}{4} \right); \quad \theta_{x0}|_{x=\pm \frac{\gamma}{2}} = \frac{\partial w_0}{\partial x}|_{x=\pm \frac{\gamma}{2}} = -\frac{\gamma}{8} (y^2 - 2y). \quad (6)$$

Сначала займемся второй невязкой (6), которую разложим в ряд Фурье по синусам:

$$\frac{\partial w_0}{\partial x}|_{x=\pm \frac{\gamma}{2}} = -\frac{\gamma}{8} (y^2 - 2y) = \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} b_{k0} \sin \lambda_k y, \quad (7)$$

$$\text{где } \lambda_k = \frac{k\pi}{2}, \quad b_{k0} = \frac{\gamma}{2\lambda_k^3}.$$

Будем компенсировать эту невязку функциональным рядом:

$$w_{11} = \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (A_{k1} \operatorname{ch} \lambda_k x + B_{k1} x \operatorname{sh} \lambda_k x) \sin \lambda_k y. \quad (8)$$

Коэффициенты ряда находим при удовлетворении граничным условиям (3):

$$B_{k1} = -\frac{b_{k0}}{\eta_k \operatorname{ch} \frac{\lambda_k \gamma}{2}}; \quad A_{k1} = -\frac{\gamma}{2} \operatorname{th} \frac{\lambda_k \gamma}{2} B_{k1}, \quad (9)$$

где

$$\eta_k = \operatorname{th} \frac{\lambda_k \gamma}{2} + \frac{\lambda_k \gamma}{2} \operatorname{ch}^2 \frac{\lambda_k \gamma}{2}.$$

Функция w_{11} в свою очередь порождает невязки на гранях $y = 0, y = 1$:

$$\begin{aligned} \theta_{y1}|_{y=0} &= \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \lambda_k (A_{k1} \operatorname{ch} \lambda_k x + B_{k1} x \operatorname{sh} \lambda_k x); \\ V_{y1}^*|_{y=1} &= - \left[\left(\frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} \right) \right]_{y=1} + G \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} \Big|_{y=1} = \\ &= -G \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\tilde{k}} \lambda_k^3 [A_{k1} \lambda_k \operatorname{ch} \lambda_k x + B_{k1} (4 \operatorname{ch} \lambda_k x + \lambda_k x \operatorname{sh} \lambda_k x)]. \end{aligned} \quad (10)$$

Разложим эти невязки, а также первую невязку (6) от частного решения в ряды Фурье по косинусам:

$$\theta_{y0}|_{y=0} = \frac{1}{4} \left(x^2 - \frac{\gamma^2}{4} \right) = \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\tilde{s}} a_{s0} \cos \mu_s x,$$

где $\mu_s = \frac{\pi s}{\gamma}, \quad a_{s0} = \frac{2}{\gamma \mu_s^3}.$

Первое выражение в формуле (10) примет вид

$$\theta_{y1}|_{y=0} = \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \lambda_k (A_{k1} \operatorname{ch} \lambda_k x + B_{k1} x \operatorname{sh} \lambda_k x) = \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\tilde{s}} a_{s1} \cos \mu_s x,$$

где

$$a_{s1} = \frac{8}{\gamma} \mu_s \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\lambda_k^2 \tilde{B}_{k1}}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2}; \quad \tilde{B}_{k1} = -\frac{b_{k0}}{\eta_k}.$$

Суммарная невязка по углу поворота от w_0 и w_{11} будет

$$\theta_{y1}^*|_{y=0} = \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\tilde{s}} a_{s1}^* \cos \mu_s x; \quad a_{s1}^* = a_{s0} + a_{s1};$$

Разложение второго выражения в формуле (10):

$$\begin{aligned} V_{y1}^*|_{y=1} &= -G \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\tilde{k}} \lambda_k^3 [A_{k1} \lambda_k \operatorname{ch} \lambda_k x + B_{k1} (4 \operatorname{ch} \lambda_k x + \lambda_k x \operatorname{sh} \lambda_k x)] = \\ &= \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\tilde{s}} t_{s1} \cos \mu_s x, \end{aligned}$$

где

$$t_{s1} = G \frac{8}{\gamma} \mu_s \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\tilde{k}} \frac{\lambda_k^3 (\lambda_k^2 + 2\mu_s^2)}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2} \tilde{B}_{k1}.$$

Чтобы компенсировать эти невязки, возьмем вторую исправляющую функцию:

$$\begin{aligned} w_{21}(x, y) &= \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\tilde{s}} [C_{s1} \operatorname{sh} \mu_s (y-1) + D_{s1} \operatorname{ch} \mu_s (y-1) + \\ &+ E_{s1} (y-1) \operatorname{ch} \mu_s (y-1) + F_{s1} (y-1) \operatorname{sh} \mu_s (y-1)] \cos \mu_s x. \end{aligned} \quad (11)$$

Потребуем, чтобы удовлетворялись условия на гранях $y = 0, y = 1$, что дает

$$C_{s1} = -\frac{1}{2\xi_{\gamma s}} \left[-G \frac{a_{s1}^*}{\operatorname{sh} \mu_s} + \frac{1}{\mu_s^4} \left(\operatorname{cth} \mu_s + \frac{\mu_s}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right) t_{s1} \right],$$

$$D_{s1} = -\frac{1}{2\xi_s} \left[\frac{2a_{s1}^*}{\mu_s \operatorname{sh} \mu_s} + \frac{1}{\mu_s^4} \left(1 - \frac{\mu_s^2}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right) t_{s1} \right],$$

$$E_{s1} = -\mu_s C_{s1}, \quad F_{s1} = (1 - \mu_s \operatorname{cth} \mu_s) C_{s1} - D_{s1} \operatorname{cth} \mu_s,$$

где

$$\xi_s = \frac{\operatorname{cth} \mu_s}{\mu_s} + \frac{1}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} + \frac{G}{2} \left(1 - \frac{\mu_s^2}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right).$$

Здесь коэффициенты E_{s1} и F_{s1} выражены через базовые коэффициенты C_{s1} , D_{s1} .
Найдем невязки от w_2 на гранях $x = \pm \gamma/2$ и разложим их в ряд Фурье по синусам:

$$\begin{aligned} \theta_{x1} \Big|_{x=\pm \frac{\gamma}{2}} &= \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} \mu_s \left\{ (\operatorname{sh} \mu_s (y-1) + (y-1) \operatorname{sh} \mu_s (y-1) - \right. \\ &\quad \left. - \mu_s [(y-1) \operatorname{ch} \mu_s (y-1) + \operatorname{cth} \mu_s (y-1) \operatorname{sh} \mu_s (y-1)]) C_{s1} + \right. \\ &\quad \left. + [\operatorname{ch} \mu_s (y-1) - \operatorname{cth} \mu_s (y-1) \operatorname{sh} \mu_s (y-1)] D_{s1} \right\} = \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} b_{k1} \sin \lambda_k y, \end{aligned}$$

где обозначено

$$\begin{aligned} b_{k1} &= 2 \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\mu_s^2}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2 \xi_s} \left\{ (-1)^{\tilde{k}} \left[-G \frac{\mu_s^2}{\operatorname{sh} \mu_s} a_{s1}^* + \frac{1}{\mu_s^2} \left(\operatorname{cth} \mu_s + \frac{\mu_s}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right) t_{s1} \right] - \right. \\ &\quad \left. - \lambda_k \left[\left(\frac{2}{\mu_s} \left(1 + \frac{1}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right) + G \left(\operatorname{cth} \mu_s - \frac{\mu_s}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right) \right) a_{s1}^* - \frac{1}{\mu_s^2 \operatorname{sh} \mu_s} t_{s1} \right] \right\}. \end{aligned}$$

Для устранения этой невязки вновь возьмем исправляющую функцию первого вида:

$$w_{12}(x, y) = \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (A_{k2} \operatorname{ch} \lambda_k x + B_{k2} x \operatorname{sh} \lambda_k x) \sin \lambda_k y, \quad (12)$$

где подобно (9):

$$B_{k2} = -\frac{b_{k1}}{\eta_k \operatorname{ch} \frac{\lambda_k \gamma}{2}}; \quad A_{k2} = -\frac{\gamma}{2} \operatorname{th} \frac{\lambda_k \gamma}{2} B_{k2}. \quad (13)$$

Далее итерационный процесс повторяется.

Приведем сводку формул для организации вычислительного процесса:

$$\begin{aligned} w(x, y) &= w_0(x, y) + \sum_{n=1}^{\infty} w_{1n}(x, y) + w_{2n}(x, y); \\ w_0 &= -\frac{1}{8} \left(x^2 - \frac{\gamma^2}{4} \right) (y^2 - 2y); \quad w_{1n} = \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (A_{kn} \operatorname{ch} \lambda_k x + B_{kn} x \operatorname{sh} \lambda_k x) \sin \lambda_k y. \\ w_{2n}(x, y) &= \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\tilde{s}} \left[C_{sn} \operatorname{sh} \mu_s (y-1) + D_{sn} \operatorname{ch} \mu_s (y-1) + \right. \\ &\quad \left. + E_{sn} (y-1) \operatorname{ch} \mu_s (y-1) + F_{sn} (y-1) \operatorname{sh} \mu_s (y-1) \right] \cos \mu_s x. \end{aligned}$$

$$\gamma = \frac{a}{b}, \quad s = \frac{s+1}{2}, \quad \lambda_k = \frac{k\pi}{2}, \quad b_{k0} = \frac{\gamma}{2\lambda_k^3}, \quad \mu_s = \frac{\pi s}{\gamma}, \quad a_{s0} = \frac{2}{\gamma \mu_s^3}.$$

$$\eta_k = \operatorname{th} \frac{\lambda_k \gamma}{2} + \frac{\lambda_k \gamma}{2} \Big/ \operatorname{ch}^2 \frac{\lambda_k \gamma}{2}, \quad B_{kn} = -\frac{b_{k(n-1)}}{\eta_k \operatorname{ch} \frac{\lambda_k \gamma}{2}}; \quad A_{kn} = -\frac{\gamma}{2} \operatorname{th} \frac{\lambda_k \gamma}{2} B_{kn}.$$

$$\tilde{B}_{kn} = -\frac{b_{k(n-1)}}{\eta_k}, \quad a_{sn} = \frac{8}{\gamma} \mu_s \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\lambda_k^2 \tilde{B}_{kn}}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2} \quad (\text{при } n=1 \quad a_{s1} = a_{s0} + a_{s1});$$

$$t_{sn} = G \frac{8}{\gamma} \mu_s \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\tilde{k}} \frac{\lambda_k^3 (\lambda_k^2 + 2\mu_s^2)}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2} \tilde{B}_{kn}, \quad G = \frac{1}{2} \frac{E_p I_p}{bD} \text{ — вычисляется или задается};$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}, \quad \xi_s = \frac{\operatorname{cth} \mu_s}{\mu_s} + \frac{1}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} + \frac{G}{2} \left(1 - \frac{\mu_s^2}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right),$$

$$C_{sn} = -\frac{1}{2\xi_s} \left[-G \frac{a_{sn}}{\operatorname{sh} \mu_s} + \frac{1}{\mu_s^4} \left(\operatorname{cth} \mu_s + \frac{\mu_s}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right) t_{sn} \right],$$

$$D_{sn} = -\frac{1}{2\xi_s} \left[\frac{2a_{sn}}{\mu_s \operatorname{sh} \mu_s} + \frac{1}{\mu_s^4} \left(1 - \frac{\mu_s^2}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right) t_{sn} \right],$$

$$E_{sn} = -\mu_s C_{sn}, \quad F_{sn} = (1 - \mu_s \operatorname{cth} \mu_s) C_{sn} - D_{sn} \operatorname{cth} \mu_s,$$

$$b_{kn} = 2 \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\mu_s^2}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2 \xi_s} \left\{ (-1)^{\tilde{k}} \left[-G \frac{\mu_s^2}{\operatorname{sh} \mu_s} a_{sn} + \frac{1}{\mu_s^2} \left(\operatorname{cth} \mu_s + \frac{\mu_s}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right) t_{sn} \right] - \right.$$

$$\left. -\lambda_k \left[\left(\frac{2}{\mu_s} \left(1 + \frac{1}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right) + G \left(\operatorname{cth} \mu_s - \frac{\mu_s}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right) \right) a_{sn} - \frac{1}{\mu_s^2 \operatorname{sh} \mu_s} t_{sn} \right] \right\}, \quad (14)$$

далее вновь вычисляются коэффициенты $A_{k(n+1)}$, $B_{k(n+1)}$ и т. д. Коэффициенты рядов w_{1n} , w_{2n} суммируются после каждой итерации.

При достижении заданной точности (невязки выполнения граничных условий должны стремиться к нулю) итерационный процесс прекращается и вычисляются прогибы пластины, моменты, перерезывающие силы и напряжения.

Анализ сходимости итерационного процесса. Нетрудно убедиться, что коэффициенты невязок b_{kn} (14) линейно зависят от аналогичных коэффициентов $b_{k(n-1)}$ предыдущей итерации. Коэффициенты b_{k0} начальной невязки (7) имеют порядок $b_{k0} = O(1/k^3)$, а для последующих итераций — $b_{kn} = O(\ln k/k^3)$. Поэтому можно записать $b_{kn} = \beta_{kn}/\lambda_k^2$, где β_{kn} — некоторая бесконечно малая величина при $k \rightarrow \infty$. Тогда формула (14) примет вид

$$\beta_{kn} = 2\lambda_k^2 \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\mu_s^2}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2 \xi_s} \left\{ (-1)^{\tilde{k}} \left[-G \frac{\mu_s^2}{\operatorname{sh} \mu_s} a_{sn} + \frac{1}{\mu_s^2} \left(\operatorname{cth} \mu_s + \frac{\mu_s}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right) \tau_{sn} \right] - \right.$$

$$\left. -\lambda_k \left[\left(\frac{2}{\mu_s} \left(1 + \frac{1}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right) + G \left(\operatorname{cth} \mu_s - \frac{\mu_s}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right) \right) a_{sn} - \frac{1}{\mu_s^2 \operatorname{sh} \mu_s} \tau_{sn} \right] \right\},$$

где

$$a_{sn} = -\frac{8}{\gamma} \mu_s \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\beta_{k(n-1)}}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2 \eta_k}, \quad \tau_{sn} = -G \frac{8}{\gamma} \mu_s \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\tilde{k}} \frac{\lambda_k (\lambda_k^2 + 2\mu_s^2)}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2 \eta_k} \beta_{k(n-1)}.$$

Поэтому если положить все $\beta_{k(n-1)} = 1$, то критерием сходимости будет $|\beta_{kn}| < 1$ при всех значениях k .

Численные результаты. Проверка сходимости производилась с помощью компьютера в среде Maple. Для пластины с отношением сторон 1:2 (ребро делит пластину на два квадрата) было установлено, что процесс сходится для значений относительной жесткости $0 \leq G \leq 0,44$.

Для вычисления прогибов была составлена программа в Maple. Число итераций менялось в широких пределах. На печать выводились невязки выполнения граничных условий на каждой итерации. Непосредственные вычисления показали, что во второй половине интервала сходимости (от $G = 0,2$ до $G = 0,44$) вычислительный процесс является неустойчивым. При небольшом количестве членов в рядах (до 40) невязки действительно убывали; с увеличением числа членов начальные итерации давали сначала сходящийся процесс, а затем наблюдался незначительный рост невязок, то есть процесс начинал расходиться. Подробные вычисления показали, что верхняя граница сходимости должна быть принята на практике равной 0,2. Следует отметить, что попытки увеличить точность вычислений увеличением числа членов в рядах до 2000, числа итераций до 100 и мантиссы до 500 знаков не привели к желаемому результату, резко увеличивая время вычислений. Причиной этого, на наш взгляд, является присутствие в граничных условиях (4) частной производной четвертого порядка $G \frac{\partial^4 w}{\partial x^4}$ (наличие ребра жесткости), что приводит к медленно сходящемуся числовому ряду для t_{sn} , а затем и других рядов. В ходе итерационного процесса этот ряд многократно используется в цикле; при этом накапливаются погрешности вычислений из-за того, что максимальное значение членов ряда сдвигается вправо (члены ряда сначала возрастают). Возможно, значительное увеличение числа членов в рядах (10 000 и более) позволит получить сходящийся процесс. Но, может быть, следует ограничиться таким количеством членов и таким числом итераций, при которых процесс сопровождается уменьшением невязок (несколько первых итераций).

Таким образом, увеличение жесткости ребра ухудшает сходимость итерационного процесса получения точного решения и делает невозможным проследить асимптотику при $G \rightarrow \infty$. Надежные результаты имеют место для значений относительной жесткости ребра $0 \leq G \leq 0,2$.

Для проверки правильности алгоритма и программы определялись прогибы гладкой пластины (без ребра полагалось $G = 0$). Форма изогнутой поверхности и максимальное значение прогиба в центре пластины $w(0; 1) = -0,0025329$ полностью совпали с результатами, полученными в [5] при постановке задачи для гладкой пластины. В работе [6] это значение равно $-0,00254$.

В качестве примера приведем результаты вычисления прогибов и форму изогнутой поверхности пластины с отношением сторон 1:2. Относительная жесткость ребра принята равной $G = 0,1$.

Значение прогиба в середине ребра составило $w(0; 1) = -0,0020025$. В рядах удерживалось 59 членов; число итераций 20. Коэффициенты невязок b_{kn} уменьшились по абсолютной величине на пять порядков, то есть практически обратились в нуль на 20-й итерации. При удержании в рядах 199 членов прогиб в середине ребра составил $w(0; 1) = -0,0020037$.

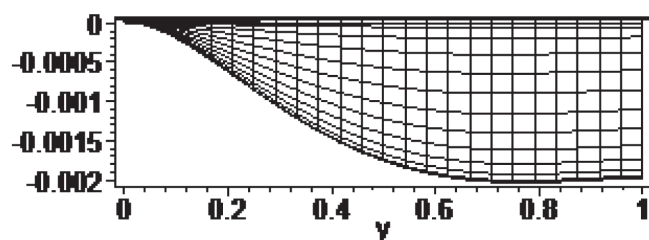


Рис. 2. Изогнутая поверхность пластины (вид со стороны оси Ox) при $G = 0,1$

На рис. 2 приведена форма изогнутой поверхности половины пластины, которая показывает, что наличие ребра даже с небольшой жесткостью существенно уменьшает прогибы пластины. Левее ребра появляется максимум.

Прогибы вычислялись также для относительной жесткости $G = 0,2$ при удержании 59 членов в рядах. На рис. 3, 4 показана соответствующая форма изогнутой поверхности.

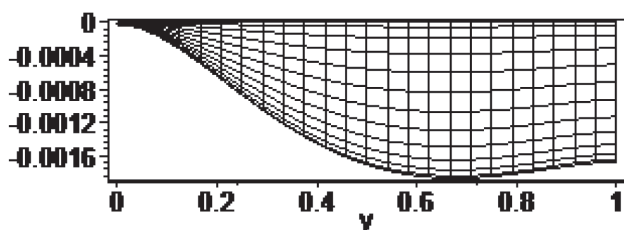


Рис. 3. Изогнутая поверхность пластины
(вид со стороны оси Ox) при $G = 0,2$

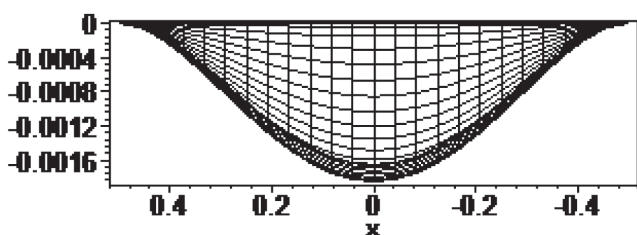


Рис. 4. Изогнутая поверхность пластины
(вид со стороны оси Oy) при $G = 0,2$

Значение прогиба в середине ребра составило $w(0; 1) = -0,0016559$. Более жесткое ребро заметно уменьшило прогиб пластины.

Рисунки 3, 4 показывают, что граничные условия для прогибов и углов поворота выполнены точно. Углы поворота всех четырех кромок в поперечном направлении равны нулю.

Выводы. Для пластины с центральным ребром, относительная жесткость которого находится в пределах от 0 до 0,2, получено аналитическое решение, дающее в пределе точное решение задачи. Исследована сходимость итерационного процесса. Приведены достоверные численные результаты определения прогибов пластины.

Полученные результаты могут быть использованы в практических расчетах НДС плоских элементов обшивки с ребром жесткости в судовых и гидротехнических конструкциях.

Список литературы

1. Папкович П. Ф. Строительная механика корабля / П. Ф. Папкович. — Л.: Судпромгиз, 1941. — Ч. 2. — 960 с.
2. Сухотерин М. В. Расчет на изгиб прямоугольных защемленных панелей с одним свободным краем / М. В. Сухотерин // Гидротехническое строительство. — 2009. — № 10.
3. Сухотерин М. В. Оценка действия сосредоточенной силы на обшивку судна / М. В. Сухотерин, К. О. Ломтева // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2011. — № 1.
4. Барышников С. О. Прочность, устойчивость, колебания плоских элементов судовых конструкций / С. О. Барышников, М. В. Сухотерин. — СПб.: Судостроение, 2012. — 167 с.
5. Сухотерин М. В. Математическое моделирование упругих плоских элементов судовых и гидротехнических конструкций: дис. ... д-ра техн. наук. / М. В. Сухотерин. — СПб.: СПГУВК, 2009. — 300 с.
6. Тимошенко С. П. Пластинки и оболочки / С. П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. — М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1963. — 635 с.

И. И. Костылев,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

М. К. Овсянников,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ЗАРУБЕЖНОЕ СУДОСТРОЕНИЕ. СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ

CONTEMPORARY MARINE SHIPBUILDING. STATUS AND TENDENCIES

В работе представлена динамика мирового судостроения от начала XXI в. до конца 2013 г. по заказам и завершённому строительству. Выделена динамика морского судостроения в Китае на фоне продолжающегося глобального экономического кризиса. На примере достижений японских судостроительных компаний рассмотрены основные направления технического прогресса в судостроении.

The paper presents the dynamics of the World shipbuilding from the beginning of the XXI century until the end of 2013 on orders and completed construction. The dynamics of marine shipbuilding in China amid the ongoing global economic crisis is highlighted. The basic directions of technical progress in shipbuilding are discussed on example of achievements of Japanese shipbuilding companies.

Ключевые слова: судостроение, экологическая безопасность, судовая энергетическая установка, главный двигатель, паровая турбина, судовый набор, танк, морская краска, сжиженный природный газ, судно-снабженец природным газом.

Key words: shipbuilding, environmental safety, ship power plant, main engine, steam turbine, the ship set, tank, marine paint, liquefied natural gas, supply vessel natural gas.

Н А протяжении последнего десятилетия XX — начала XXI в. мировое судостроение по заказам практически стабильно удерживалось на уровне суммарного тоннажа в 20–30 млн т в год с неизменным лидерством в нем японских верфей [1]. Уже в 2000 г. это первенство перешло к Южной Корее. Конец XX в. можно считать началом развития большого китайского судостроения. Еще в 2000 г. по заказанному тоннажу оно находилось на уровне около 2 млн т, а к началу мирового экономического кризиса (2007) выросло почти до 60 млн т., в 30 раз, что частично объясняется вхождением в Китай Гонконга. На волне экономического кризиса оно также упало на 8–10 млн т в 2013 г.

Можно отметить, что в 2009 г. Китай вышел на первое место в мировом судостроении и в настоящее время удерживает его, в то время как верфи ЕС практически прекратили свое производство.

В условиях жесткой конкуренции по заказам на строительство новых судов, обострившейся в годы затянувшегося экономического кризиса, большое значение получил фактор технического совершенства продукции, основными показателями которого являются топливная эффективность и высокие экономические характеристики.

Кризис в мировом судостроении, то есть его спад, в первую очередь обусловлен глобальным экономическим кризисом. Несколько менее значительными, но все же весьма существенными его факторами являются будоражащие на протяжении нескольких лет Евросоюз и ставшие для него перманентными финансовые проблемы и предметно тяжелый пресс со стороны огромного тоннажа действующего флота самого разного типа транспортных судов с высоким проектным и практически реализуемым эксплуатационным ресурсом. Например, современные суда для перевозки сжиженного газа (CP-LNGC, Liquefied Natural Gas Carrier) большой вместимости (200 и более тыс. м³) на японских и южно-корейских верфях строятся на срок 40 лет. В такой обстановке

новые заказы в судостроении могут привлечь только конструкционные и технологические достижения, обеспечивающие высокие показатели по энергосбережению и обеспечению экологической безопасности (предотвращению загрязнения с судов окружающей среды — атмосферы и Мирового океана). То есть показатели, удовлетворяющие новым стандартам и нормам в этой области на уровнях судостроения и судоходства. Эти утвержденные Международной морской организацией (ИМО) стандарты и нормы с их шкалами в настоящее время уже действуют: EEDI (Energy Efficiency Design Index), “ENVIRO+” и хорошо известны [2; 3].

В настоящей статье приведены некоторые конкретные примеры новых конструкционных разработок японских судостроителей, направленных на повышение этих характеристик. При этом они не пренебрегают даже относительно невысокими эффектами от вводимых новшеств. Так, на автомобилевозе постройки 2010 г. (“City of S.-Petersburg” Pure Cr Carrier-PPC) повышенная экономичность СЭУ и ее экологичность без потерь в полезной грузовместимости достигнута снижением ветрового сопротивления за счет полусферического оформления носовой части судна и применения специальных красок, как для подводной, так и надводной поверхности корпуса. Это сравнительно небольших размеров судно ($L = 131$ м; $D = 24,45$ м; $d = 6,5$ м), грузоподъемностью в 21 тыс. т (2000 ед. колесной техники), построено на верфях “Kyokuyo Shipyard Corporation” в декабре 2010 г. Скорость хода 17 уз. судно развивает при мощности главного дизеля MAN B&W LL42MC $P_e = 7000$ кВт.

Над улучшением аэро- и гидродинамических характеристик работают и производители сферических танков совместно с судостроителями. Так, “Mitsubishi Heavy Industry Ltd” (MHI) получила и выполнила заказ на новый LNGC вместимостью 155 тыс. м³ с рядным расположением танков, конструкционно интегрированных с судовым набором в трюмном пространстве. Это увеличивает его жесткость и способность лучше сопротивляться слошинговому воздействию на судовой набор в зоне расположения танков и повышает собственную устойчивость и прочность. Такая компоновка танков с судовым набором получила название SAYAEND, что по-японски значит «горошины в гондоле». Сферические танки закрыты единым протянутым по судну капотом (полусферическим куполом), также жестко связанным с судовым набором в верхней части всего трюмного пространства, что в целом повышает конструкционную и эксплуатационную надежность газовоза. Такое капотирование сферических танков, безусловно, возможно и целесообразно в отношении призматических танков, с одной стороны, кроме снижения аэродинамического сопротивления движению судна, улучшает общие условия эксплуатации судна в целом, с другой — повышает ответственность верфи и предъявляет дополнительные требования в отношении качества и безукоризненности всех проводимых над закрываемыми впоследствии куполами механических и электромонтажных работ.

Наряду с усилиями по энергосбережению, осуществляемыми в отношении корпуса судна в одном и том же проекте, встречаются весьма существенные решения, неминуемо обуславливающие потери по шкале EEDI из-за увеличения удельного расхода топлива в главном двигателе (ГД). Например, в рассмотренном выше LNGC SAYAEND (ГД) использована паротурбинная установка (ПТУ). Надо полагать, что это выбор сделан конъюнктурно: производителем ПТУ является та же самая MHI Ltd, что и производитель судна. При этом фирма объявляет высокое значение термического КПД ПТУ, обеспечиваемого промежуточным перегревом пара, но прием промежуточного перегрева сам по себе обычен, так же как и параметры пара на входе в первую ступень турбины и на выходе его из последней перед конденсатором. Объявленное фирмой достигнутое снижение расхода топлива на 20 % по сравнению с таковым для однотипных LNGC с конвенционной ПТУ представляется сомнительным. Более реальным оно могло бы быть реализовано в случае установки на судне в качестве ГД малооборотного дизеля. Тем более что такой опыт у японских судостроителей имеется. Например, LNGC “Double ECO Max” обеспечивает 30-процентную экономию топлива и снижение эмиссии в атмосферу углекислого газа.

“Mitsui Engineering & Shipbuilding Co. Ltd” (MES) закончила разработку нового типа LNGC (DEM) с 39 %-ной экономией топлива и снижением CO₂ за счет применения пропульсивной сис-

темы с электронным управлением топливоподачи (газа) в малооборотном дизеле ME-GI на судах в 147 000 и 180 000 м³. Главным здесь является установка MF-GI, допускающая работу на дизельном топливе и газе, а также их смешанное сжигание с прямой передачей мощности ГД на движитель. Использование двойного топлива открывает возможность оптимизации эксплуатации судна в различных условиях [3].

Все эти результаты MES были подтверждены фирменными испытаниями, проведенными в 20-тысячной часовой эксплуатации на “Chiba Works”. Преимущества использования GIDE (Gas Injection Diesel Engine) в отношении экологических характеристик (ENVIRO) также были подтверждены замерами в этих длительных испытаниях с электронным управлением топливоподачи на главном дизеле. Испытания проводились с участием представителей DNV и ABS и других классификационных обществ. Все это позволило MES продвинуться в отношении заказов на Doube Eco Max LNGC.

Конструкционно развиваются также и другие типы судов. Например “Japan Marine United Corporation” (JMUC) разработала G Series следующего поколения большегрузных балкеров со сниженным на 25 % выбросом парниковых газов и запустила линию по поступившим заказам.

Проектные разработки начались в 2010 финансовом году. Штат разработчиков насчитывал более 50 человек только в конструкторском отделе. Сверх того, к решению вопросов научно-технических исследований в области снижения GHG на 25 % к 2012 г. и на 50 % еще через 10 лет (то есть примерно к 2020(22) г.) привлекались дополнительные внешние кадры и исследовательские учреждения, занятые в этой области, а также в области совершенствования корпуса судна с целью увеличения грузовместимости и эффективности СЭУ.

Новые поколения — это суда грузоместимостью 200 тыс. т и выше, имеющие следующие характеристики:

1. 25 %-ное снижение удельной парниковой эмиссии (GHG) за счет увеличения оптимизации грузовых танков и топливной эффективности СЭУ:

- снижение сопротивления движению судна;
- увеличение эффективности СЭУ;
- увеличение активной мореходности судна;
- выбор наиболее подходящего главного двигателя;
- снижение расходов энергии на палубные работы;
- использование отбросной теплоты (утилизации) в пропульсивном комплексе.

2. Использование оптимальной стандартной системы контроля и управления Sea Navi.

3. Максимальная грузоместимость увеличена на 3 % по сравнению с предыдущей серией балкеров JMU. Ежедневный расход топлива снижен на 10 т и даже больше за счет повышения топливной эффективности СЭУ (самая высокая на японском флоте).

4. Удовлетворяется требование по 3-й степени EEDI (Energy Efficiency Design Index), утвержденное ИМО MERCCZ в июле 2012 г. для судов 2025 г.

5. Sea Navi — такие готовятся по Плану регламентаций для морских судов (SEEMP — Ship Energy Efficiency Management Plan), утвержденному в январе 2013 г.

JMU's Series еще не учитывают концепции энергосберегающих технологий. Она будет работать для судов, вступающих в эксплуатацию после 2014 г. Но реализованные в серии идеи пригодны для судов различного назначения (кроме балкеров), тем более проектируемых к 2020 г. выпуска (спуска на воду).

JMUC развила и в концепции конструкционно завершила отработку четырех главных типов судов: контейнеровоз 130 000 TEU-class; танкер на 310 000 т; балкер на 56 000 т и паром для пассажиров с автомобилем. Главным (и новым) в концепции eFuture Series является 30 %-ное снижение GHG, достигнутое отработанными технологиями. В eFuture Series 130 000 значительно улучшена пропульсивная эффективность за счет гидромеханической оптимизации обводов, винта с отбросными (tip raked) лопастями, бульбообразного (в сечении) руля, вынесенного в нос мостика со специальными обводами капота, вплоть до использования специальной краски для всего корпуса

с низким коэффициентом трения в воде и воздухе и антикоррозионной. Увеличение топливной эффективности достигнуто электронным управлением ГД, установкой в турбине наддува, управляемого сопловым аппаратом, как в паровой турбине, глубокой утилизацией теплоты отработанных газов, начиная с газовой турбины в системе наддува. Отработана и установлена система с панелью фотоэлектрогенератора на случай увеличения в сети мощности в режимах захода и выхода из порта. Здесь энергоэффективность СЭУ повышается путем совершенствования винторулевого комплекса с винтом с противоположно вращающимися лопастями, а также за счет низкофрикционной морской краски на наружных поверхностях и примененного в контейнеровозе 130000 TEU-class. Все это также было использовано при разработке моделей танкера 130000 TEU и автомобилевоза.

Продолжается проектирование контейнеровоза с LNG-топливом вместе с разработкой судов-поставщиков (снабженцев) СПГ. Корпорация “Kawasaki Heavy Industry” (КНИ) закончила концептуальные (эскизные) конструкционные проработки судна-снабженца большегрузных судов СПГ топливом, необходимость в котором появится в ближайшем будущем. КНИ в сентябре 2012 г. построила 5 небольших LNGC’s прибрежного плавания (каботажного). В них установлено оборудование для перегрузки СПГ с борта на борт возвышающегося судна, система возврата или какого-либо использования пара СПГ, образующегося в процессе его перегрузки. Последняя обеспечивается с учетом разницы высот уровней от подачи до принимающего бункера. На бункеровщике установлен танк IMO Type C с давлением 5 бар, обеспечивающим и подачу, и минимизацию испарения СПГ в процессе перегрузки. Материал танка — алюминиевый сплав, обычно применяемый КНИ как в больших, так и в малых LNGC’s. Главный двигатель на снабженце двухтопливный с испарителем СПГ, газовым компрессором и газоподогревателем перед ГД. Более того, предусмотрена установка сжигания газа, испаряющегося от избыточного естественного подогрева танка во время стоянки на якоре.

Японские судостроители много времени и усилий затрачивают на научно-исследовательские работы в области методов определения точности изготовления больших пластин в трехмерном представлении лазерными сканерами. Они используются в контроле изготовления пространственно деформированных больших стальных листов, например образующих носовую бульбу, кормовой подзор и т. п. Разработаны схемы операций измерения и оценки ошибок.

Наряду с этим ведутся разработки морского (навигационного) оборудования.

Устройства восстановления устойчивости судна. МНИ разработала систему (повышения) увеличения устойчивости судов при повреждении корпуса, уменьшающие риск опрокидывания, особенно для судов RORO (с января 2009 г. утверждена ИМО в SOLAS Convention).

Разработки схем аварийного снижения положения центра тяжести для придания большей устойчивости перемещения к днищу судна массы забортной воды, поступающей через пробойину; система сообщения грузовых и балластных объемов трубопроводами, которые не только исключают необходимость конструкционного разделения грузовых объемов на мелкие части, но и облегчают грузовые операции на RORO. Система была установлена и испытана на 170-метровом RORO в рейсах со скоростью хода 23 уз. и полным грузом.

Отработки емкостей для газовозов с давлением газа 300 бар. Краткая информация о работах МНИ в области применения природного газа (ПГ) как топлива. Новая система с насосом, обеспечивающим давление СПГ на уровне 300 бар, при компактной компоновке и сниженной мощности привода насоса. Гидравлический привод насоса дает возможность регулировать частоту работы без механического редуктора, с гибкой регулировкой подачи. Компания разработала свою систему на основе собственной разветвленной технологической базы и новых достижений в области криогенной техники в процессе длительных экспериментов, а также многолетнего опыта строительства LNGC, различных энергоагрегатов, включая ГД, насосы, уплотнения для работы в условиях низкой температуры. Система состоит главным образом из агрегата транспортирования LNG при высоком давлении к двигателю в соответствии с режимом его работы (нагрузки) и его изменением. Гидромотор как источник необходимой для этого энергии (мощности) перемещает СПГ к подогревателю, где повышается температура до нормальной с одновременным повышении-

ем давления уже в газовой фазе. Сжатый газ (CNG) после буферного расширителя до безопасного давления поступает в тепловой двигатель для сжигания.

В комбинации с двухтактным малооборотным дизелем эта система оказывается высокоэффективной в пропульсивном комплексе при сниженной эмиссии O_xC , SO_x и NO_x . Внедрение первого образца было осуществлено в начале 2013 г.

Разработан судовой генератор тока с гибридной газовой турбиной (СГТсГГТ). Разработчик — “Nippon Yusen Kaisha Ltd” (NYK Line). “Japan Marine United Corporation” (JMU) и МНН разработали СГТсГГТ совместно с “Hitachi Zosen Corporation” и “Tasyo Electric Co.” и установили его в СЭУ действующего судна. СГТсГГТ предназначается для использования в комбинации с малооборотным главным дизелем: встраивается с габаритно небольшим генератором тока на фундаменте глушителя после газовой турбины. Электрическая мощность установки изменяется в зависимости от частоты тока, которая, в свою очередь, зависит от частоты вращения турбины и подводится к общесудовому току с постоянным напряжением и частотой (50–60 Гц). Соответствие устанавливается установкой в системе СГТсГГТ AC-to-DC-конвертора и DC-to-AC-инвертора. Назначение системы — возможность участия в общесудовой системе снабжения электроэнергией, снижение расходов топлива в СЭУ и выбросов его тепличного GHG и других газов в окружающую среду.

Получили дальнейшее развитие технологии очистки поверхностей судна перед окраской (Mixed Air Jet Blasting Equipment). Вторичная обработка поверхностей пескоструйным распылом широко применяется для новых и ремонтируемых судов, вместе с обмывом водой под давлением. Альтернатива — обдув (Air Jet Blasting). Включается вода, распыленная до мельчайших капель под высоким давлением в смеси с воздухом, и через сопла подается на поверхность. Установлены очевидные преимущества, оправдывающие затраты.

В январе 2010 г. разработан всеобъемлющий тренажер судна “Mitsui Engineering & Shipbuilding Co Ltd” и “Akishima Laboratory (Mitsui Losen) Incorporation”. Сдали заказ для школы в Jakarta, PIP School in Semarang in Makassar (в Индонезии) в порядке помощи Японии морским учебным заведениям в Юго-Восточной Азии. Тренажеры полностью укомплектованы для обучения морскому судоходству в Индонезии. Тренажер имеет три подсистемы: I — управление судном; II — машинное отделение; III — главный и вспомогательные дизели.

Продолжаются эксплуатационные испытания с работой главного дизеля на водотопливной эмульсии, обеспечивающей снижение NO_x и GHG.

Список литературы

1. Shipbuilding and Marine Engineering in Japan. — Japan Ship Centre (JETRO), 2013.
2. Костылев И. И. Реконденсационные установки большой вместимости / И. И. Костылев, М. К. Овсянников // Эксплуатация морского транспорта. — СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2012. — № 3 (69).
3. Костылев И. И. Двойное топливо в современной судовой энергетике / И. И. Костылев, М. К. Овсянников // Эксплуатация морского транспорта. — СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2013. — № 1 (71).

УДК 621.891

I. Wilczewska,

postgraduate,
Bialystok University of Technology (Poland);

R. Kaczyński,

Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Bialystok University of Technology (Poland);

S. G. Chulkin,

Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

THE MECHANISM OF WEAR PROCESS OF THE POLYMERS USED IN SHIPBUILDING STRENGTHENED BY UNIDIRECTIONAL CARBONACEOUS FIBRES

МЕХАНИЗМ ИЗНАШИВАНИЯ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СУДОСТРОЕНИИ ПОЛИМЕРОВ, УКРЕПЛЕННЫХ ОДНОНАПРАВЛЕННЫМИ УГЛЕРОДИСТЫМИ ВОЛОКНАМИ

The paper presents an analysis of the research results used in shipbuilding in various environments bearings made of reinforced carbon composites. The data of microscopic carbon fiber research and tribological tests bearings conducted under different loading conditions are presented. The impact of the matrix and the fibers on the wear mechanism of composites reinforced with unidirectional carbon fibers oriented is discussed.

Представлен анализ результатов исследований, используемых в судостроении в различных средах подшипников скольжения из армированных углепластиков. Приведены данные микроскопических исследований углепластиков, а также трибологических испытаний подшипников, проведенных при различных условиях нагружения. Обсуждалось влияние матрицы и волокон на механизм изнашивания композитов, армированных однонаправленными ориентированными углеродными волокнами.

Key words: mechanism of wear, carbon plastic, plain bearing, shipbuilding.

Ключевые слова: механизм изнашивания, углепластик, подшипник скольжения, судостроение.

1. Introduction.

Nowadays polymers have been recognized in every area of life [1, с. 240–244; 2, с. 805–816; 3–5]. Also the increasing application in technical solutions such as sliding bearings [6, p. 45–53; 7, с. 245–251; 8, с. 55–56; 9, с. 335–339] was noticed, though friction and wear of polymers is a very complex process, still not to be fully explored. The more, process of friction and wear of carbon (glass, aramide) fiber reinforced polymer is more complicated. In this case we have with at least two materials, which properties and their participation in the friction work, influence on the final wear of the composite.

Many experimental works on behavior of friction couples such as polymer composite-metal operating at different conditions have been published in recent years [10; 11]. Nowadays the mechanism that would describe the process of friction and wear of polymers and their composites was not clearly mentioned, though of course in the literature can be found fairly broad description of subject [8; 9; 12–14].

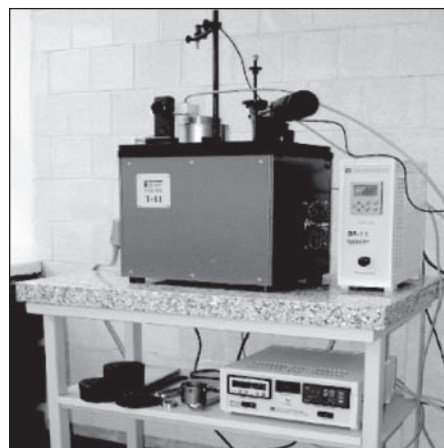


Fig 1. Tribotester T-11

Therefore, it is necessary to carry out further researches for pairs such metal-polymer composite, in order to analyze individual influence of composite components on these processes and total material wear.

In paper the results of experimental studies of frictional pairs, constructed as follows: the sample is made up from polymer composites reinforced with carbon fibers set perpendicular to the friction surface (and friction direction), and a counter bearing steel 100Cr6, were presented.

The researches were conducted in three environments: air, water and oil SAE 15W/40, under variable load and constant sliding velocity. The paper presents the results of experimental researches separately for components of both composites, to determine their effect on the overall intensity of wear of each mentioned CFRP. An analysis of the composites' wear process and behavior of carbon fibers and the matrix in the friction process was also discussed.

2. Methodology.

The experimental researches were carried out for tribological friction couples composed of the following materials:

- PEEK CF30 — (polyetheretherketone) composites reinforced with 30 % carbon fiber, from which samples were made;
- PA66 CF30 – polyamide-based composite 6.6, a reinforced carbon fiber 30 %, from which samples were made;
- 100Cr6 — bearing steel, from which counter sample was prepared.

Both reinforced composites were strengthened with the same carbon fiber, with a diameter equal 7.2 [μm].

The researches were done using tribo-tester T-11 (fig. 1), where pin-on-disk scheme during sliding friction was implemented.

Experimental studies were carried out under the following conditions:

- the range of the contact pressure is 2.8÷13.5 [MPa];
- test runs were carried out in three environments: air, water, oil SAE 15W/40;
- constant sliding velocity 1 [m/s];
- time of test — 2 [h].

The parameters measured directly during experimental tests were: temperature measured close frictional contact area, linear wear of samples (the linear dimension of the pin), friction force. Polymer samples were subjected to reaching pre-test before general test under a load of 0.2 [MPa] at the time 600 [s].

In order to receive a qualitative analysis of the surface, microscopy researches were performed using a scanning electron microscope Hitachi S-3000 N. The surface layer composites researches was done, using an atomic force microscope, the application of microscope is increasingly being used to evaluate the structure of materials and their wear mechanism [15; 16, s. 92–101]. The quality of the used materials has been verified on the basis of the documents received and owner checkups.

3. Results and analysis.

a) Tribological researches

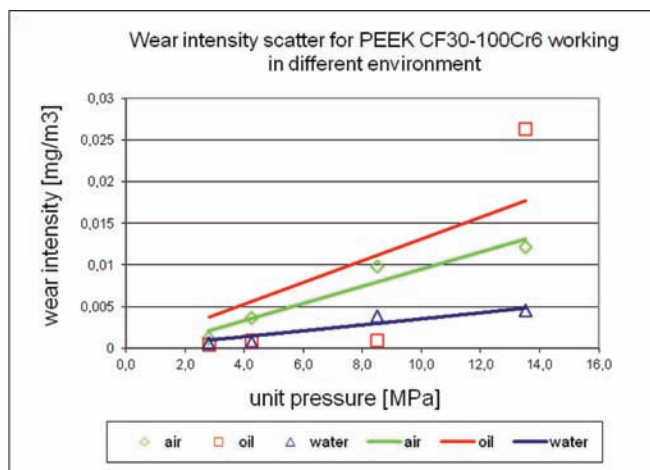
As a result of experimental researches, following parameters were receive: friction force, wear and temperature measured near contact area in function of the contact pressure.

Additionally, sample' mass wear was measured to verify the linear wear.

The average values of wear intensity as a function of unit pressure, were presented as graphs above (fig. 2, a, b). The values of friction coefficient and temperature due to the limited space of paper was not presented here, but it's available in [17].

On the base of tribological researches, it could be claim that the process of friction of considered couples is not stable during entire load range. Indicates on it, the values of all parameters obtained during the study. And particular example of this variation is mass intensity of samples in all environments.

a



b

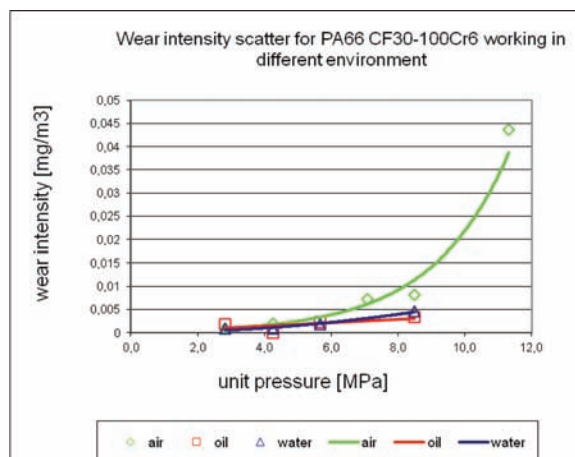


Fig. 2. Wear intensity scatter of PEEK CA30-100Cr (*a*) and PA66 CF30-100Cr6 (*b*) in three environments: as a function of unit contact pressure

— The values of friction coefficient of couples both composites working in the water and oil are very similar throughout the load range. Scattering of friction coefficient' values of couples worked in the air is significantly different. Those values are much higher, which is caused by lack of lubricant between working surfaces. Lack of lubricant allows to create better conditions that are needed for creation of an adhesion between the sample and the layer of polymer applied on the surface of the metal sample (visible track on counter sample) [16].

— Temperature values for friction pairs working in air environment definitely exceed the values of temperature pairs working in water and oil, especially in the final load range. Naturally, it is caused by much less leading off heat from contact area.

— Range of wear intensity of polymer composite samples is fundamentally different in the final load range above the unit pressure 8 [MPa]. In this case, author's observed rapid increase of PA66-CF30 samples wear, which were working in the air. It can be concluded that under those conditions, matrix PA66 is definitely weaker as a material than the matrix PEEK and is rapidly destroyed (deformed) because of high temperature.

b) Microscoping researches

In order to verify the character of polymer composites' wear, both: microscopic researches of polymer samples and determination of their chemical composition, were executed. The initial microscopic researches indicate that the sample made on base of polymer have the following structure: the carbon fibers are aligned perpendicular to the friction surface, along the axis of samples (cylinders) and are surrounded by a polymer matrix (fig. 3).

Examples of the microscopic researches' results were presented in [17].

Analyzing the obtained microscoping photos and chemical compositions of the samples working in three environments, the following conclusions could be presented. The dominant mechanical wear (abrasive wear) can be observed during friction in dry environment (in the air). The oxygen content in the surface layer of both composites is significantly lower comparing to the samples worked in water and oil.

A large number of different chemical elements occurred in the surface layer of composite samples working in oil and water, is a result of these samples

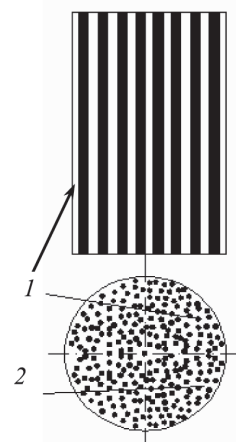


Fig. 3. Schematic structure of composite reinforced with carbon fibers, the fibers are set perpendicular to friction area and sliding direction: 1 — polymer matrix, 2 — carbon fibers

work in this special environments. The nature of friction process of samples, working especially in oil is particularly different. The secondary layers are clearly visible in structure of sample layers (elements oxides). Due to dominant mechanism of abrasive wear and small or lack of secondary layers observed in the surface layer of both composites (lack of additional components in the surface layer of the composite), in further part of paper, the authors focuses on samples' analysis, worked in air.

c) Tribological researches of composite' components

Therefore, the experimental researches were carried out of both composites' components and parameters of these work and corresponding parameters of composite, were compared below.

The results were presented in fig. 4.

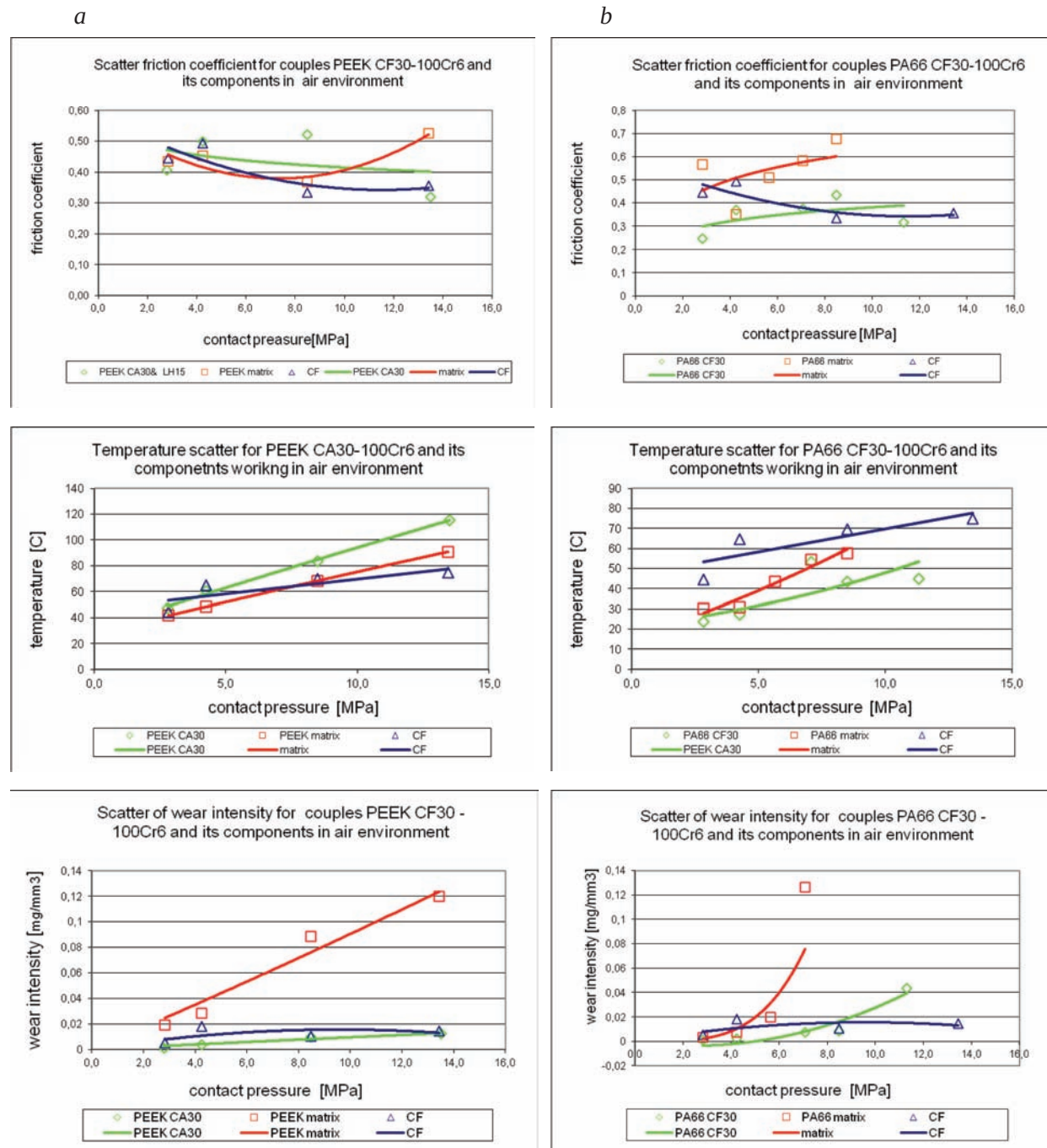


Fig. 4. Scatter of friction coefficient, temperature, and mass wear intensity as a function of unit pressure of PEEK CF30 (a) and PA66 CF30 (b) and their components, working in the air

Based on above researches the following conclusions were expressed:

— friction coefficient values of composite samples and samples made from components are similar in almost the entire range of loads. This statement concerns both tested composites;

— a similar relationship was observed in case of temperature measured near frictional contact throughout entire range of load;

— special attention should be paid for wear intensity of both composites and their components. The lowest wear intensity values were obtained for the samples made from composite material for both PEEK CF30 and PA66 CF30. Scatter of wear intensity of samples made from the carbon fibers and composites are similar. Wear intensity of samples made from pure matrix is several times higher (which is confirmed in both composites). In order to verify the above comparative analysis, mass wear intensity was also checked, to confirm the above statement and the composite nature of the wear of its individual components.

Summing the tribological results indicate that the wear intensity of the composite depends significantly of the participation of both components during friction, their properties and their percentage in the surface layer of the working sample.

In the following part of paper, authors determine the effect of individual components of composite (percentage contribution influence of two components and matrix material influence) on the wear intensity of the composite.

d) Topography of the surface layer composites study

Below relationship of composite wear intensity from the percentage contribution of carbon fibers in the surface layer was presented. The percentage of the fibers was determined by counting of their surface area relative to the total surface of the sample.

The scan of PEEK CFx surfaces layer after friction in air environment, was done. Counting were made of the areas of carbon fibers and the matrix (fig. 5), taking into account whole sample surface, and then a following comparison was made: wear intensity of composite samples with obtained percentage contribution of carbon fibers in the whole surface.



Fig. 5. Counting of carbon fibers in the surface layer of the composite (counting method)

Mass wear intensity of the composite samples of PEEK CF30 in relationship with percentage contribution of carbon fibers in the surface layer of the sample is shown in fig. 6.

Above relationship indicates that one of the key parameters affecting on friction process and total wear of composite is the percentage contribution of carbon fibers, which are involved in the work of both co-operating parts. The increase of carbon fibers contribution in the friction surface of the sample, follows by decrease of wear intensity of the composite sample.

— The second considered factor influence on wear intensity of composite was type of matrix and the effect of load on the surface topography of the composites samples. In order to analyze the topography scans of surface layers of both the polyether and polyamide were done.

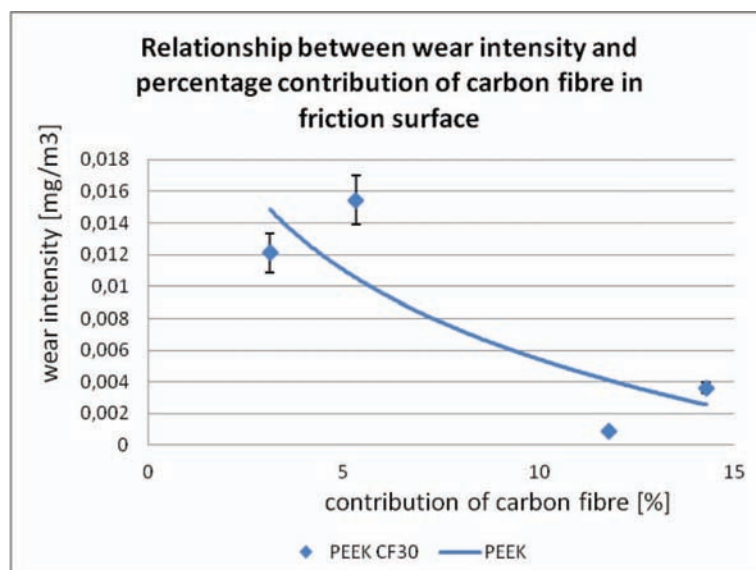


Fig. 6. Composite wear relationship with percentage contribution of carbon fibers in the surface layer of the composite

— Topography of the surface layer of both composites allowed for measurement of height of fibers compared to the surrounding matrix and the inclination of the face of the fibers during the friction to metal element (fig. 8). Through obtained researches, the relationship between fibers' height and angle depending on the combination of matrix (fig. 7) was established.

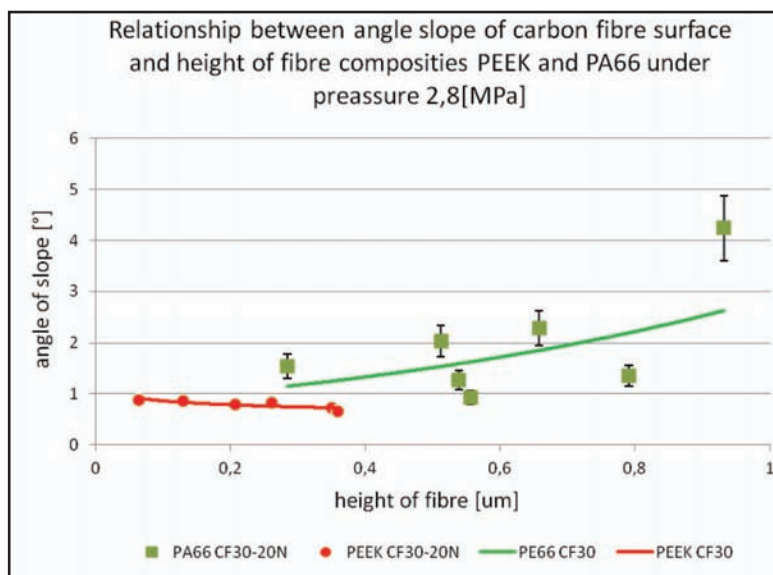


Fig. 7. Relationship between angle and height of fibers and the matrix used, under unit pressure equal 2.8 [MPa]

The relationship obtained from fig. 7 was determined by measuring the height and angle of the carbon fibers (fig. 8) in the surface layer of both composite samples which have worked in an air environment at the same unit pressure equal 2.8 [MPa]. The relationship indicates the significant role of used matrix used, its "behaviour" in the friction process with metal element, and thus influence on wear mechanism of composite. The spread of fiber samples PEEK CF30' height is much narrow ($0.064 \div 0.359$ microns) than in case of composite PA66 CF30 ($0.2846 \div 0.932$ microns).

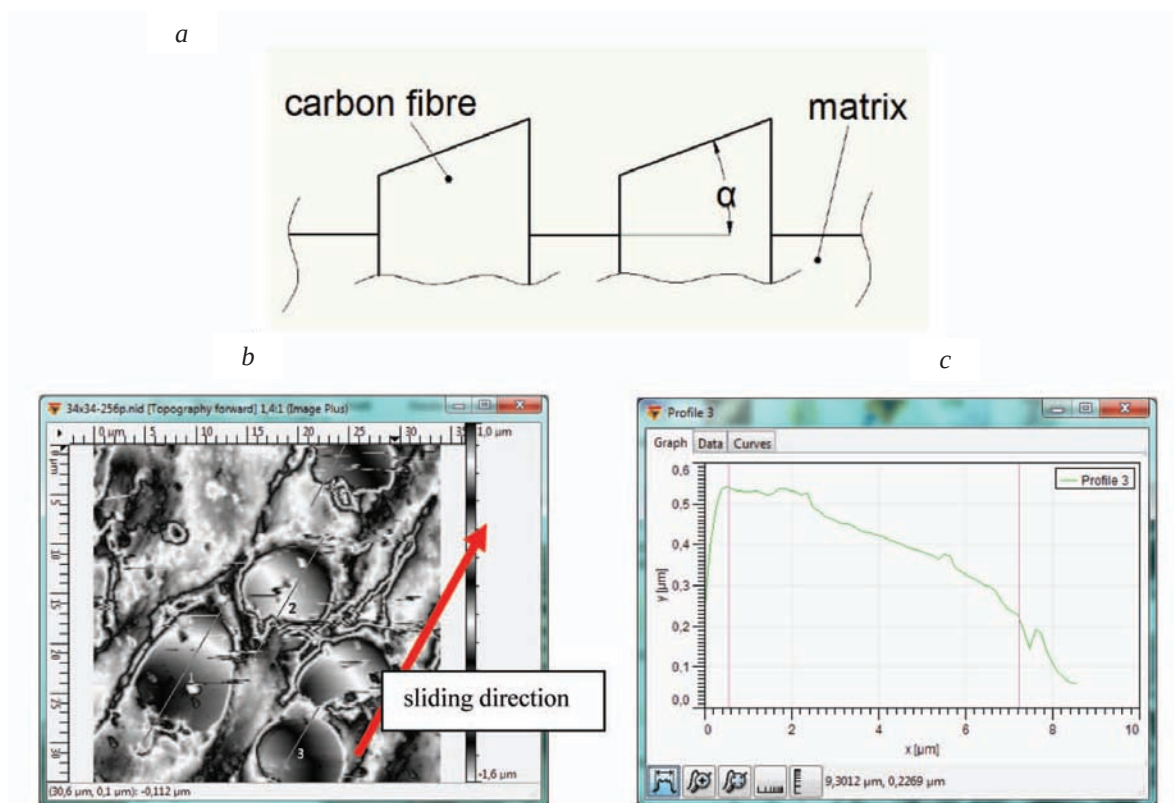


Fig. 8. *a* — Measurement of slope angle α of carbon fiber to matrix surface;
b — the topography of the surface layer made with the atomic force microscope;
c — profile of a carbon fiber after friction

On the base of graphs, it should be noticed, that along with increase of carbon fibers' height, the slope angle also increase. Much wider spread of inclination angle was observed also for composite samples based on polyamide. The differences in both: height and angle of the carbon fibers, occurring between samples PEEK CF30 and CF30 PA66, which worked under the same load, may occur due to matrix material. Based on the documentation of both polymers, it can be concluded that the PEEK (i. e. Young's modulus 4400 MPa, 230 MPa Hardness HB) has a much higher strength properties than PA66 (1100 MPa Young's modulus, hardness HB 140 MPa), which explains the higher destruction resistance of composite for considered unit pressure.

4. Summary.

The results of executed researches allow authors for following conclusions:

— Comparative analysis of the structures of the surface layers formed after friction in the air, allow to conclude that there is a significant difference in the character of work and the mechanisms of friction couples compared to samples working in the oil. Visible carbon fibers and insignificant mark (or lack) of secondary structures, indicate on dominant form of abrasive wear of the samples worked in air. The low content of oxygen and other elements which may form compounds in the surface layer, also give an evidence according to above statement;

— according to samples PEEK CA30 and PA66 CF30 working in the oil, the situation is essentially different. Considerably, developed secondary structure were noticed, which indicates on typical abrasive-chemical wear nature;

— tribological tests and presented analysis of individual components' work indicate for significant influence of mechanical properties of both components, as well as their percentage of the friction surface of the composite on composite' friction and wear mechanism;

— topography researches of surface layer after the friction in air environment, indicates the variability of the surface layer structure shape and thus wear mechanism variation, i. e. carbon fiber different work during friction depending on the distribution of unit pressures occurring on matrix and fibers and properties of both components.

Literature

1. Чулкин С. Г. Использование композитных материалов в узлах трения нефтяного оборудования — шаровой запорной арматуры и в кабелях толкателях / С. Г. Чулкин, А. А. Ашейчик, С. Н. Селин // Вопросы материаловедения. — 2012. — № 4 (72).
2. Чулкин С. Г. Применение подшипников из углепластика в судостроении, турбиностроении, горнодобывающей технике / С. Г. Чулкин, А. А. Ашейчик, С. Н. Селин // Современное машиностроение. Наука и образование: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., 14–15 июня 2012 г., Санкт-Петербург. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012.
3. Повышение износостойкости и долговечности машин и механизмов на транспорте: тр. IV Междунар. симпозиума по транспортной триботехнике «ТРАНСТРИБО–2010» / под общ. ред. С. Г. Чулкина, П. М. Лысенкова. — СПб.: Изд-во «ЛОМО-Инфраспек», 2010. — 348 с.
4. Повышение износостойкости и долговечности машин и механизмов на транспорте: тр. III Междунар. симпозиума по транспортной триботехнике «Транстрибо–2005» / под общ. ред. С. Г. Чулкина. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005. — 312 с.
5. Триботехника на водном транспорте: тр. I Междунар. симпозиума по транспортной триботехнике «Транстрибо–2001» / под общ. ред. С. Г. Чулкина, П. М. Лысенкова. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. — 156 с.
6. Kaczyński R. Construction analysis of mini-generator of electric energy using working medium flow as the working environment / R. Kaczyński, I. Wilczewska, B. Hościło // Key Engineering Materials. — Switzerland: ALF, 2011. — Vol. 490.
7. Жуков В. А. Исследование физико-механических свойств модифицированных композитных материалов на основе фенилона и полиэфиркетона, предназначенных для изготовления подшипников скольжения / В. А. Жуков, С. Г. Чулкин, С. Н. Селин // Вопросы материаловедения. — 2012. — № 4 (72).
8. Качиньски Р. Подшипники, смазываемые водой, для судового механического оборудования / Р. Качиньски, С. Г. Чулкин // Судостроение. — 2004. — № 1.
9. Чулкин С. Г. Улучшение триботехнических свойств антифрикционных полимерных покрытий / С. Г. Чулкин, А. В. Стукач // Технология ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций: материалы практ. конф. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2003.
10. Рубин М. Б. Подшипники в судовой технике: справ. / М. Б. Рубин, В. Е. Бахарева. — Л.: Судостроение, 1987. — 201 с.
11. Чулкин С. Г. Эффективность техногенных пар трения: моногр. / С. Г. Чулкин, Р. Качиньски, М. П. Лысенков. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. — 194 с.
12. Gao Sl. Interphas characterization in composites with new non-destructive methods / Sl. Gao, E. Mader, M. Muhle // Composites. — 1998. — Pt. A. — № 29. — P. 1111–1119.
13. Friedrich K. Wear models for multiphase materials and synergistic effects in polymer hybrid composites / K. Friedrich // Advances in Composites Tribology. — 1993.
14. Yen D. A model for the abrasive wear of fiber-reinforced polymer composites / D. Yen. — Wear, 1996.

15. Tewari U. S. Recent development in tribology of fibre reinforced composites with thermoplastic and thermosetting matrices / U. S. Tewari, J. Bijwe // *Advances in Composites Tribology*. — 1993. — Chap. 5.
16. Wang Y. AFM characterization of interfacial properties of carbon fibre reinforced composites subjected to hygrothermal treatments / Y. Wang, T. H. Hahn // *Composites science and Technology*. — 2007. — № 67.
17. Wilczewska I. Badanie mechanizmu tarcia i zużycia polimerów wzmacnianych włóknami węglowymi / I. Wilczewska // VII Międzynarodowa Konferencja. — Tarcie, 2012.

УДК 627.332, 519.63, 51.74

Т. Ю. Никитина,
аспирант,

ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ДИНАМИКА ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЗАЩЕМЛЕННОЙ БАЛКИ

DYNAMICS OF TRANSVERSE OSCILLATIONS OF A RIGID VERTICAL BEAM

Статья посвящена вопросу устойчивости конструкций из тонких вертикальных стен. Рассматривается математическая модель поперечных колебаний вертикальной упругой балки с защемленным нижним концом под действием внешней силы. Описаны алгоритмы решения дифференциального уравнения поперечных колебаний упругой балки с применением «балочных» функций А. Н. Крылова и метода Б. Г. Галеркина в варианте В. З. Власова — Л. В. Канторовича. Приведены результаты вычислительного эксперимента, выполненного в программе Mathcad.

The article is devoted to the stability of rising walls structures. A mathematical model of the vertical transverse vibrations of an elastic beam clamped at the lower end by an external force is considered. The algorithms for solving differential equations of transverse vibrations of an elastic beam with the use of “beam” functions of A. N. Krylov, and B. G. Galerkin in the version of V. Z. Vlasov — L. V. Kantorovich are described. The results of numerical experiments performed in the program Mathcad are given.

Ключевые слова: гидротехническое строительство, устойчивость сооружений, поперечные колебания упругой балки.

Key words: hydraulic engineering, sustainability of structures, transversal vibrations of an elastic beam.

Введение

В портовом строительстве для создания причальных и волнозащитных сооружений применяются конструкции с элементами тонких вертикальных стенок. На открытой акватории часто применяются больверки (тонкие подпорные стенки), выполненные из шпунтовых свай или свай специальных профилей. Использование таких сооружений связано с проблемой возникновения аварийных ситуаций при производстве работ в условиях открытой морской акватории, а именно:

- трещины, заломы элементов стен, расхождение замков;
- отклонение стенки от проектного положения;
- обрушение свайных рядов.

Из множества процессов, происходящих с тонкой вертикальной стенкой, заглубленной в грунт на морской акватории, представляют интерес [1]:

- колебания стержня под воздействием волновой нагрузки;

- волновые течения вблизи стенки;
- разжижение и вымывание частиц грунта.

Каждое из этих явлений описывается сложными математическими моделями в виде дифференциальных уравнений в частных производных. Высокая сложность общей модели осложняет построение методик расчета. В проектной практике широко применяют специализированные вычислительные средства для прочностных расчетов на основе сеточных и конечно-элементных методов. Однако эти средства отличаются значительной стоимостью и являются избыточными для оценочных расчетов, отличающихся умеренными требованиями к точности расчета. С учетом погрешностей исходных данных погрешность оценочного расчета в 20 %, как правило, вполне приемлема. Поэтому актуальны различные упрощения вычислительных процедур, позволяющие применять при создании транспортной инфраструктуры распространенные и относительно недорогие математические пакеты, в частности систему автоматизации математических расчетов Mathcad [2], к преимуществам которой относят естественный математический язык информационного обмена и дружественный интерфейс. Следует также отметить наличие свободно распространяемого аналога этой программы.

Модель поперечных колебаний вертикальной упругой балки с защемленным нижним концом (рис. 1) под действием внешней возмущающей силы — одна из основных составляющих общей модели, описывается следующим дифференциальным уравнением [3–5] в частных производных (ДУЧП) для поперечных колебаний упругой балки (стержня):

$$\frac{E \cdot J}{m} \cdot \frac{\partial^4 u}{\partial z^4} + \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{c}{m} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{q}{m}, \quad (1)$$

где q — распределенная нагрузка;

E — модуль Юнга;

J — момент инерции сечения относительно главной оси перпендикулярной плоскости колебаний;

m — масса единицы длины стержня (погонная плотность);

c — коэффициент пропорциональности в выражении для силы внутреннего трения;

$0 \leq z \leq l$ — координата вдоль длины стержня.

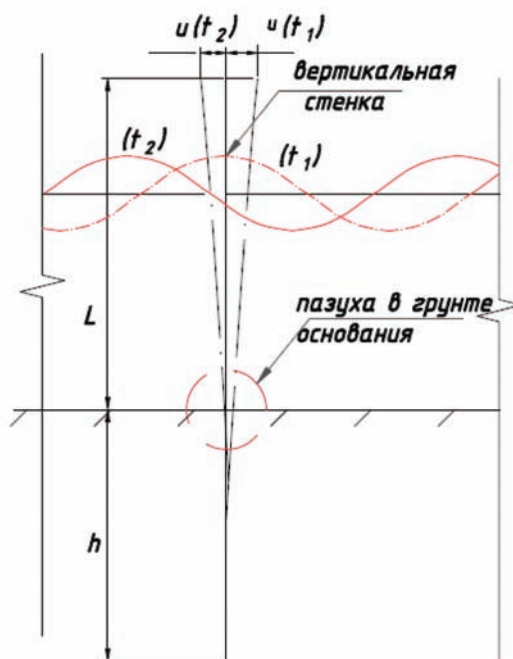


Рис. 1. Схема деформаций шпунтовой стенки при воздействии волн

Математическая формулировка граничных условий для стержня с закрепленным левым и свободным правым концами выражается следующими соотношениями.

Условия закрепления стержня в точке $z = 0$:

$$u(t, 0) = \frac{\partial u(t, z)}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0.$$

Условия на свободном конце (при $z = L$):

$$\frac{\partial^2 u(t, L)}{\partial z^2} = \frac{\partial^3 u(t, L)}{\partial z^3} = 0.$$

Начальные условия при $t = 0$:

$$\begin{cases} u(0, z) = u_g(z); \\ \frac{\partial u}{\partial t}(t, z) \Big|_{t=0} = v_g(z), \end{cases}$$

где $u_g(z)$, $v_g(z)$ — заданные функции.

С целью взаимной проверки практически значимых результатов решения ДУЧП (1) с указанными выше краевыми и начальными условиями получим численные решения этого уравнения альтернативными методами, а именно методами Фурье в интерпретации А. Н. Крылова и Б. Г. Галеркина в варианте В. З. Власова — Л. В. Канторовича [3–7].

Предварительные преобразования

Поскольку метод Власова–Канторовича удобнее осуществлять на отрезке единичной длины, преобразуем уравнение к новой пространственной координате $x = z/L$, где $0 \leq x \leq 1$. В выражениях для начальных условий и распределенной нагрузки необходимо подставить значение $z = L \cdot x$. В результате замены пространственной переменной получим уравнение

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2 \cdot \alpha \cdot \frac{\partial u}{\partial t} + \beta^2 \cdot \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} = F; \\ \frac{\partial^2 u(t, x)}{\partial x^2} \Big|_{x=1} = \frac{\partial^3 u(t, x)}{\partial x^3} \Big|_{x=1} = 0; \\ u(0, x) = U g(x); \\ \frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{t=0} = V g(x), \end{cases} \quad (2)$$

где $\alpha = c/(2 \cdot m)$, $\beta^2 = E \cdot J \cdot (m \cdot L^4)^{-1}$ и $F = q/m$ — параметры и возмущение.

Далее будем решать уравнение (2).

Решение методом Фурье

Решение поставленной задачи осуществим в два этапа. На первом этапе решим однородное уравнение

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2 \cdot \alpha \cdot \frac{\partial u}{\partial t} + \beta^2 \cdot \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} = 0. \quad (3)$$

Будем искать решение уравнения (5) в виде ряда $u(t, x) = \sum_k T_k(t) \cdot X_k(x)$, где $k = 0, 1, \dots, \infty$ — натуральные числа. Тогда в результате разделения переменных для каждого номера k получим систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d^2 T_k}{dt^2} + 2 \cdot \alpha \cdot \frac{dT_k}{dt} + \sigma^2 \cdot T_k = 0; \\ \frac{d^4 X_k}{dx^4} - K^4 \cdot X_k = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где σ^2 и $K = \sqrt{(\sigma/\beta)}$ — параметры.

Первое из уравнений системы (4) является уравнением затухающих гармонических колебаний, общее решение которого:

$$T_k = A \cdot e^{-\alpha \cdot t} \cdot \sin(\omega \cdot t + \theta), \quad (5)$$

где A, θ — начальная амплитуда колебаний; $\omega^2 = \sigma^2 - \alpha^2$ — круговая частота колебаний.

Общее решение второго уравнения (4) выразим «взвешенной» суммой «балочных» функций Крылова:

$$X = c_0 \cdot S(x, K) + c_1 \cdot T(x, K) + c_2 \cdot U(x, K) + c_3 \cdot V(x, K),$$

где c_0, c_1, c_2, c_3 — постоянные «весовые» коэффициенты;

$S(x, K), T(x, K), U(x, K), V(x, K)$ — «балочные» функции А. Н. Крылова [3].

С учетом свойств «балочных» функций определим значения постоянных, исходя из граничных условий при $x = 0$ и $x = 1$. При этом $c_0 = c_1 = c_2 = 0$, тогда

$$c_3 \cdot (S - T(1, K) \cdot V(1, K) \cdot (S(1, K))^{-1}) = 0. \quad (6)$$

Интерес представляет нетривиальное решение задачи, поэтому $c_3 \neq 0$ и уравнение (12) при $L = 1$ эквивалентно «частотному» [4] уравнению: $\cos(K) \cdot \operatorname{ch}(K) = -1$. Для определения «собственных частот» K воспользуемся аппроксимацией [6, с. 10–14]:

$$K_n = \pi \cdot (0.5 + n + e^{-4.37n} \cdot 10^{-2} \cdot (3.686 - 59.92 \cdot n + 4.054 \cdot n^6)).$$

Решения частотного уравнения пронумерованы номерами $n = 0, 1, 2, \dots, \infty$.

При известных значениях параметра K и угловой частоты $\omega_n = \sqrt{\beta^2 \cdot K_n^4 - \alpha^2}$ решение временного уравнения имеет вид

$$T_{k,n} = A_n \cdot e^{-\alpha \cdot t} \cdot \sin(\sqrt{\beta^2 \cdot K_n^4 - \alpha^2} \cdot t + \theta_n), \quad (7)$$

где $T_{k,n}, A_n, \theta_n$ — постоянные.

Решение уравнения (4) для $X_n(x)$ при $K = K_n$ и $c_3 = 1$ есть собственная форма:

$$\varphi(x, n) = V(x, K_n) - \frac{T(1, K_n)}{S(1, K_n)} \cdot U(x, K_n). \quad (8)$$

Объединяя уравнения (7) и (8) и суммируя по индексу n , получим общее решение ДУЧП (3) в виде

$$U(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cdot e^{-\alpha \cdot t} \cdot \varphi(x, n) \cdot \sin(\sqrt{\beta^2 \cdot K_n^4 - \alpha^2} \cdot t + \theta_n). \quad (9)$$

Частное решение выделим с помощью начальных условий:

$$U_g(x) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cdot \varphi(x, n) \cdot \sin(\theta_n), \quad (10)$$

$$V_g(x) = \frac{\partial}{\partial t} U(x, t) \Big|_{t=0} = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cdot \varphi(x, n) \cdot (\sqrt{\beta^2 \cdot K_n^4 - \alpha^2} \cdot \cos(\theta_n) - A_n \cdot \alpha \cdot \varphi(x, n) \cdot \sin(\theta_n)). \quad (11)$$

Разлагая выражения (10), (11) в ряды по собственным формам после вычислений определим ранее неизвестные амплитуду колебаний A_n , фазовый сдвиг θ_n :

$$\begin{cases} A_n = \psi_n \cdot \sin \left(\arctg \left(\frac{\psi_n \cdot \omega_n}{\eta_n + \alpha_n \cdot \psi_n} \right) \right)^{-1}; \\ \theta_n = \arctg \left(\frac{\psi_n \cdot \omega_n}{\eta_n + \alpha_n \cdot \psi_n} \right). \end{cases}$$

Разложим правую часть неоднородного ДУЧП (2) по собственным формам:

$$\begin{cases} F = \sum_{n=0}^{\infty} q_n \cdot \varphi(x, n); \\ q_n(t) = \left(\int_0^1 F(t, x) \cdot \varphi(x, n) \cdot dx \right) \cdot \left(\int_0^1 \varphi_n(x, n)^2 \cdot dx \right)^{-1}, \end{cases}$$

где $q_n(t)$ — коэффициенты, полученные с учетом ортогональности форм.

Пусть, кроме того, $U_n = T_n(t) \cdot \varphi(x, n)$ — решение ДУЧП (2), соответствующее номеру n , тогда, переходя к почленным равенствам, получим

$$\left(\frac{d^2 T_n}{dt^2} + 2 \cdot \alpha \cdot \frac{dT_n}{dt} \right) \cdot \varphi(x, n) + \beta^2 \cdot T_n \cdot \frac{d^4 \varphi(x, n)}{dx^4} = q_n(t) \cdot \varphi(x, n).$$

Заметим, что $\frac{d^4 \varphi(x, n)}{dx^4} = K(n)^4 \cdot \varphi(x, n)$ (это следует из выражения (4)). В результате сокращения общего множителя $\varphi(x, n) \neq 0$ получим неоднородное линейное дифференциальное уравнение (НЛДУ):

$$\frac{d^2 T_n}{dt^2} + 2 \cdot \alpha \cdot \frac{dT_n}{dt} + \sigma^2 \cdot T_n = q_n(t), \quad (12)$$

где $\beta^2 \cdot K^4 = \sigma^2$.

В соответствии с общей теорией линейных уравнений можно записать

$$T_n = Ts_n + Tv_n,$$

где Ts_n — общее решение (7) однородного дифференциального уравнения;
 Tv_n — частное решение НЛДУ (12).

При гармоническом возбуждении

$$q_n(t) = Um_n \cdot \sin(v \cdot t + \theta), \quad (13)$$

где Um_n, v, θ — неизвестная амплитуда, частота и фаза колебаний.

Будем искать решение уравнения (12) специального вида [5]:

$$Tv_n = \mu_n \cdot \sin(v \cdot t + \theta \cdot v + \Delta\theta_n), \quad (14)$$

где $\mu_n, \theta, \Delta\theta_n$ — амплитуда, начальная фаза колебаний и сдвиг фазы соответственно.

Подставим (13) и (14) в (12), после промежуточных вычислений получим

$$\begin{cases} \mu_n = \frac{Um_n \cdot \cos(\Delta\theta_n)}{(\sigma^2 - v^2)}; \\ \Delta\theta_n = \arctg\left(\frac{2 \cdot \alpha \cdot v}{(v^2 - K_n^4 \cdot \beta^2)}\right). \end{cases} \quad (15)$$

Итак, общее решение НЛДУ будет иметь вид

$$U = \sum_{n=0}^{\infty} \left[\left(A_n \cdot e^{-\alpha \cdot t} \cdot \sin(\omega_n \cdot t + \theta_n) + \mu_n \cdot \sin(v \cdot t + \theta_v + \Delta\theta_n) \right) \cdot \varphi(x, n) \right]. \quad (16)$$

Здесь параметры μ_n и $\Delta\theta$ вычисляются по формулам (15), а постоянные A_n и θ_n подлежат определению из начальных условий по формулам:

$$\left\{ \begin{aligned} \eta_n &= \left(\int_0^1 V_g(x) \cdot \varphi(x, n) \cdot dx \right) \cdot \left(\int_0^1 \varphi_n(x, n)^2 \cdot dx \right)^{-1}; \\ \psi_n &= \left(\int_0^1 U_g(x) \cdot \varphi(x, n) \cdot dx \right) \cdot \left(\int_0^1 \varphi(x, n)^2 \cdot dx \right)^{-1}; \\ \theta_n &= \frac{\omega_n}{\frac{\eta_n - \mu_n \cdot \nu \cdot \cos(\theta_n + \Delta\theta_n)}{\psi_n - \mu_n \cdot \sin(\theta_n + \Delta\theta_n)} + \alpha}; \\ A_n &= \frac{\psi_n - \mu_n \cdot \sin(\theta_n + \Delta\theta_n)}{\sin(\theta_n)}; \\ \omega_n &= \sqrt{\beta^2 \cdot K_n^4 - \alpha^2}. \end{aligned} \right. \quad (17)$$

Алгоритм расчета методом Фурье

Полученные выше выражения положены в основу алгоритма, реализованного средствами системы автоматизации математических расчетов Mathcad. Алгоритм включает следующие операции:

- 1) ввод исходных данных, к которым отнесены коэффициенты ДУЧП (2), (3), а также параметры возмущения и временной интервал, на котором рассматривается решение ДУЧП;
- 2) выбор количества членов в разложении искомого решения по собственным формам N ;
- 3) расчет по формулам (17) коэффициентов разложения начальных условий и правой части ДУЧП по собственным формам с номерами в диапазоне $0 \leq n \leq N$;
- 4) аппроксимация искомого решения путем подстановки вычисленных в операции (2) коэффициентов в выражение (16).

Метод Галеркина–Власова–Канторовича

Идея метода Власова–Канторовича [7; 8] также базируется на разделении переменных. Здесь роль функций формы играют так называемые пробные функции, а искомое решение аппроксимируют отрезком ряда

$$u(t, x) = \sum_{n=0}^N a(t)_n \cdot \varphi(x)_n, \quad (18)$$

где $a(t)$ — коэффициенты, зависящие от времени;

$\varphi(x)_n$ — система из $(N + 1)$ пробной функции (считая номер $n = 0$), причем $\varphi(x)_0$ удовлетворяет граничным условиям;

$\varphi(x)_m$ — где $m = 1, 2, \dots, N$ удовлетворяет условиям $\varphi(0)_m = \varphi(1)_m = 0$.

Подставляя полученные выражения в выражения (2), находим невязку:

$$R = \sum_{n=0}^N \left(\frac{d^2 a(t)_n}{dt^2} + 2 \cdot \alpha \cdot \frac{da(t)_n}{dt} \right) \cdot \varphi(x)_n + \sum_{n=0}^N \beta^2 \cdot a(t)_n \cdot \frac{d^4 \varphi(x)_n}{dx^4} - F \neq 0.$$

Минимальное абсолютное значение невязки, соответствующее наилучшей аппроксимации решения задачи (2) функцией (18), достигается при ортогональности невязки R всем пробным функциям. Условие такой ортогональности формулируется в виде системы уравнений:

$$\int_0^1 R \cdot \varphi_m(x) \cdot dx = 0 \quad \text{при любом } 0 \leq m \leq n.$$

Для пробной функции $\varphi_m(x)$, где m произвольный номер, следует

$$\begin{cases} \sum_{n=0}^N \frac{d^2 a_n}{dt^2} \cdot JF_{m,n} + \sum_{n=0}^N \frac{da_n}{dt} \cdot 2 \cdot \alpha \cdot JF_{m,n} + \beta^2 \cdot \sum_{n=0}^N a_n \cdot J_{m,n} = JB_m ; \\ J_{m,n} = \int_0^1 \frac{d^4 \varphi_n}{dx^4} \cdot \varphi_m(x) \cdot dx ; \\ JF_{m,n} = \int_0^1 \varphi_n(x) \cdot \varphi_m(x) \cdot dx ; \\ JB_m = \int_0^1 F \cdot \varphi_m(x) \cdot dx, \end{cases} \quad (19)$$

где $J_{m,n}$, $JF_{m,n}$, JB_m — коэффициенты.

Для всех значений m , получаем матричное уравнение:

$$JF \cdot \frac{d^2 \vec{a}}{dt^2} + 2 \cdot \alpha \cdot JF \cdot \frac{d\vec{a}}{dt} + \beta^2 \cdot J \cdot \vec{a} = J\vec{B}. \quad (20)$$

С учетом особенностей систем компьютерной математики приведем уравнение (20) к системе дифференциальных уравнений 1-го порядка.

$$\begin{cases} \frac{d\vec{a}}{dt} = \vec{V}_n ; \\ \frac{d\vec{V}_n}{dt} = JF^{-1} \cdot J\vec{B} - (JF^{-1} \cdot J) \cdot \beta^2 \cdot \vec{a} - 2 \cdot \alpha \cdot \vec{V}. \end{cases} \quad (21)$$

Начальные значения векторов $\vec{a}$ и $\vec{V}$ определим разложением начальных условий по пробным функциям в соответствии с выражениями:

$$\begin{cases} a_m(0) = g_n = JF_{m,n}^{-1} \cdot \left[\int_0^1 u_g(x) \cdot \varphi_m(x) \cdot dx \right] ; \\ v_m(0) = JF_{m,n}^{-1} \cdot \left[\int_0^1 v_g(x) \cdot \varphi_m(x) \cdot dx \right]. \end{cases} \quad (22)$$

Учитывая, что программа Mathcad позволяет относительно просто вычислять значения интегралов, определяющих динамическую систему (21), и, кроме того, содержит развитые средства решения дифференциальных уравнений, практическая реализация метода Власова–Канторовича оказывается существенно проще. Для обоснования применимости тех или иных пробных функций необходимо выполнить оценочные расчеты и сравнить результаты, полученные различными методами.

Алгоритм расчета методом Власова–Канторовича

Алгоритм приближенного решения ДУЧП методом Власова–Канторовича реализован средствами системы автоматизации математических расчетов Mathcad. Алгоритм включает следующие операции:

- 1) ввод исходных данных, к которым отнесены коэффициенты ДУЧП (4), а также параметры возмущения и временной интервал, на котором рассматривается решение ДУЧП;
- 2) расчет матриц J , JF и вектора JB по формулам (19) на основе пробных функций:

$$\begin{cases} \varphi_0(x) = 2 \cdot x^2 - \frac{4}{3} \cdot x^3 + \frac{1}{3} x^4 ; \\ \varphi_m(x) = \varphi(m, x) = x^2 \cdot (1-x)^{m+4}, \end{cases} \quad (23)$$

где $m = 1, 2, \dots, N$ — номер пробной функции;

3) расчет векторов начальных условий по формулам (22):

4) решение задачи Коши для системы дифференциальных уравнений (21) и вычисленных выше начальных условий с помощью встроженных функций программы Mathcad.

Вычислительный эксперимент

С целью проверки реализации описанных выше алгоритмов при решении практически значимых прикладных задач был осуществлен вычислительный эксперимент, заключающийся в расчете параметров колебаний шпунта типа Ларсен под воздействием гармонической волновой нагрузки [1]:

$$\begin{cases} F(t, x) = Ts(t) \cdot UM(x); \\ Ts(t) = \sin(vz \cdot t + \theta z); \\ UM(x) = \Delta P \cdot \text{if}(x \leq xa, 1, \text{if}(x \geq xb, 0, 1 - (x - xa) \cdot (xb - xa)^{-1})), \end{cases}$$

где $Ts(t)$, $UM(x)$ — функции времени и координаты;

vz , θ_z — угловая частота и начальная фаза возмущений;

ΔP — удельное давление на единицу относительной длины (величина характеризует разность давлений на вертикальную стену, в случае если уровни воды неодинаковы по обе стороны от нее);

xa , xb — константы, учитывающие разность уровней воды по обе стороны от стенки;

$\text{if}()$ — условная функция [9].

На предварительном этапе эксперимента было выполнено сравнение результатов расчетов двумя методами, показавшее хорошее совпадение результатов при нескольких тестовых наборах параметров возмущения и колеблющейся балки. При этом в разложениях удерживалось по пять членов ($N = 4$). Следовательно, система пробных функций (23) подходит для решения рассматриваемого класса задач.

Далее, методом Власова–Канторовича были построены табличные зависимости прогиба от относительной длины балки (координата x) при различных значениях угловой частоты возмущения vz . На завершающем этапе зависимости прогиба балки от ее относительной длины были аппроксимированы полиномами третьей степени (первое выражение в системе (24)). В свою очередь для коэффициентов искомого полинома также были построены полиномы (второе выражение в системе (24)), описывающие изменения этих коэффициентов в зависимости от угловой частоты возмущения, выраженной в долях числа Архимеда π .

В результате чего зависимость амплитуды прогиба балки от относительной длины и частоты возмущения была представлена математической моделью:

$$\begin{cases} u = \sum_{n=0}^3 b_n \cdot x^n; \\ b_n = \sum_{m=0}^3 B_{m,n} \cdot z^m; \\ z = vz/\pi, \end{cases} \quad (24)$$

где B — матрица констант.

В частном случае ДУЧП с параметрами, представленными в табл. 1, в результате аппроксимации были получены компоненты матрицы B , приведенные в табл. 2.

Таблица 1

Параметры ДУЧП

Параметр	ед. измерения	Значение
ΔP	кГ	49,4
Δz	рад	0
χa	—	0,8
χb	—	0,8
α	—	0,0199
β	—	7,112

Таблица 2

Матрица коэффициентов В

m	n			
	0	1	2	3
0	-5.306304E-4	0.0112193	0.1007814	-0.0426477
1	9.6927823E-6	-2.222159E-4	3.4844199E-3	-1.497188E-3
2	-1.9364113E-5	3.9119059E-4	6.364925E-3	-2.707281E-3
3	2.4506438E-6	-5.1477114E-5	-8.3594543E-5	3.4123641E-5

Графики зависимости амплитуды прогиба балки от ее относительной длины при различных значениях частоты возмущения показаны на рис. 2.

Таким образом, данный алгоритм позволил оценить прогибы свайного ряда для различных частот воздействия волны. Графики на рис. 2 описывают значения прогибов в диапазоне волн с периодом от 0,70 до 20 с, что соответствует практическим условиям эксплуатации портовых ГТС.

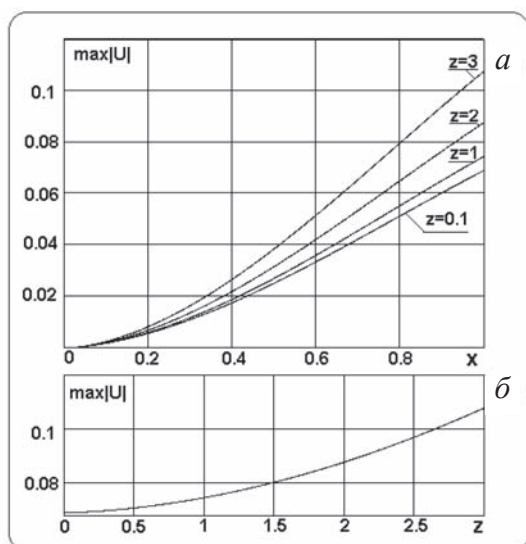


Рис. 2. а — графики зависимости амплитуды прогиба $\max |U|$ балки от ее относительной длины при различных значениях частоты возмущения; б — график зависимости амплитуды прогиба $\max |U|$ балки от значения частоты возмущения

Выводы

Исследование упругих поперечных колебаний балки с зашлепленным концом методами Фурье в интерпретации А. Н. Крылова, и Б. Г. Галеркина в варианте В. З. Власова — Л. В. Канторовича показало, что отличающийся более простой реализацией средствами программы Mathcad метод Власова–Канторовича с пробными функциями (23) вполне приемлем для решения рассматриваемого класса задач.

Построена полиномиальная математическая модель, позволяющая оперативно оценивать прогиб балки в заданном диапазоне параметров волны, не решая дифференциальных уравнений.

Аналогичная математическая модель может быть построена и для других параметров воздействия и балки. Полученные результаты целесообразно использовать при выборе типа шпунтовых свай с учетом волновых параметров.

Список литературы

1. Строительные нормы и правила 2.06.04-82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). — М.: Госстрой СССР, 1989. — 71 с.
2. Дьяконов В. П. Энциклопедия Mathcad 200i и Mathcad 11 / В. П. Дьяконов. — М.: СОЛОН-Пресс, 2004. — 384 с.
3. Крылов А. Н. Избранные труды / А. Н. Крылов; ст. и ред. Ю. А. Шиманского, примеч. И. Г. Хановича. — М.: Изд-во АН СССР, 1958. — (Сер. «Классики науки»).
4. Работнов Ю. Н. Сопротивление материалов / Ю. Н. Работнов. — М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1962. — 456 с.
5. Стоценко А. А. Курс теории сооружений. Строительная механика. / А. А. Стоценко [и др.]. — Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. — Ч. 1: Теория сооружений в инженерном деле. — Прил. 2: Нагрузка и оценка эксплуатационных качеств сооружений при динамических воздействиях землетрясений и ветра. — 80 с.
6. Пахоменкова Т. Ю. О применении численного метода решения уравнений А. В. Драгилева в задаче расчета собственных частот поперечных колебаний упругой балки / Т. Ю. Пахоменкова // ФЭН-Наука: период. журн. науч. тр. — Бугульма, 2012. — 69 с.
7. Флетчер К. Численные методы на основании метода Галеркина: пер. с англ. / К. Флетчер. — М.: Мир, 1988 — 352 с.
8. Ильин В. П. Численные методы решения задач в строительной механике: справ. пособие / В. П. Ильин, В. В. Карпов, А. М. Масленников; под ред. В. П. Ильина. — Минск: Высш. шк., 1990.
9. Пахоменкова Т. Ю. Исследование устойчивости шпунтовых стен при волновом воздействии / Т. Ю. Пахоменкова // Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии: тез. науч.-техн. конф. / ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, октябрь 2012 г. — СПб., 2012.

ЛОГИСТИКА И ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 338.47:656.615.073

М. Б. Иванова,
канд. экон. наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «Государственный морской
университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова»

ПРИМЕНЕНИЕ БЕНЧМАРКИНГА В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИТОРСКОЙ КОМПАНИИ

USING OF BENCHMARKING IN FORWARDING ACTIVITY

Процесс бенчмаркинга необходим для транспортных компаний, работающих в конкурентной среде. В данной статье рассмотрена теория и методика проведения бенчмаркинга в судоходной компании. Мы также проанализировали критерии оценки транспортно-экспедиторской компании для целей бенчмаркинга.

В данной статье мы предложили методику проведения бенчмаркинга для применения в транспортно-экспедиторской деятельности.

Process of benchmarking is necessary for transport company working in competitive environment. The theory and method of benchmarking is examined in this article. We have analysed criterions of estimation of forwarding company for benchmarking.

In this article we have offered method of benchmarking to use in forwarding activity.

Ключевые слова: транспортно-экспедиторские услуги, процесс бенчмаркинга, конкурентоспособность.

Key words: forwarding services, process of benchmarking, competitive ability, criterions of estimation.

В ПОИСКАХ успешного опыта компании в первую очередь обращают внимание на деятельность конкурентов в данной отрасли. Сравнение себя, своей работы, своего окружения с другими присуще человеческой природе вообще. Тем более это находит применение в отраслях с интенсивной конкурентной ситуацией. Инструмент, позволяющий исследовать, оценивать и применять положительный опыт конкурирующих компаний, носит название бенчмаркинг. Бенчмаркинг — это механизм сравнительного анализа эффективности работы одного предприятия с показателями других, более успешных фирм [2, с. 532–534]. Термин «бенчмаркинг» был предложен в 1972 г. сотрудниками Кембриджского института стратегического планирования (США).

Бенчмаркинг определяется как деятельность, включающая изучение тех товаров и услуг, которые другие предприятия делают лучше, выявление бизнес-процессов лучших предприятий, применение методов работы успешных компаний.

Сразу стоит отметить, что слепое копирование достижений, преимуществ других фирм производить не стоит. На наш взгляд, искусство бенчмаркинга состоит в умении грамотно оценить собственное состояние, собственные возможности и тенденции к самосовершенствованию. Простое копирование методов неизбежно приведет к тому, что потребителям на рынке будут представлены однообразные, стандартные товары и услуги. «Все хорошо в меру» — один из основных принципов бенчмаркинга. Таким образом, бенчмаркинг, являясь естественным процессом, присущим человеческой природе, не должен возводиться в абсолют.

Транспортно-экспедиторские предприятия, функционируя в интенсивной конкурентной среде, также могут использовать бенчмаркинг в своей деятельности. Целью данной статьи является формулировка методических основ применения бенчмаркинга в транспортно-экспедиторской компании.

Для этого в данной работе необходимо было решить следующие задачи:

- рассмотреть теорию бенчмаркинга и сформировать алгоритм действий;
- рассмотреть методику бенчмаркинга в одной из смежных для транспортного экспедирования отраслей;
- выявить критерии оценки деятельности транспортно-экспедиторской компании для проведения бенчмаркинга.

Отметим, что доскональное изучение конкурентов — достаточно сложная задача. Допустим, что менеджеры экспедиторской компании узнают, что какой-то крупный грузопоток «ушел» к одному из конкурентов. Необходимо выяснить, что привело к успеху: рекламная кампания, новая программа мотивации сотрудников, предложение дополнительных услуг или что-то другое. В ряде отраслей возможен открытый и добровольный обмен информацией между конкурирующими компаниями. Чаще всего это происходит в рамках профессиональных объединений и ассоциаций. Так, в транспортно-экспедиторском бизнесе эту роль могла бы взять на себя Ассоциация российских экспедиторов. Для этого необходимо разработать анкету для заполнения руководителями транспортно-экспедиторских предприятий и организовать работу консультационного отдела.

Выделяют следующие виды бенчмаркинга:

- бенчмаркинг конкурентоспособности — измерение характеристик продукции предприятия и сопоставление с продукцией конкурентов;
- бенчмаркинг процесса — сопоставление показателей отдельного процесса предприятия с показателями аналогичного процесса других предприятий;
- функциональный бенчмаркинг — сравнение определенных функций двух и более предприятий;
- стратегический бенчмаркинг — оценка альтернатив, основанная на исследовании успешных стратегий предприятий конкурентов;
- глобальный бенчмаркинг — инструмент организации международного обмена опытом с учетом культуры и особенностей национальных процессов организации производства.

Анализируя экономическую литературу по теме бенчмаркинга, можно выделить следующие этапы данного процесса [2, с. 532–534; 10]:

- выбор успешной компании, которая предоставляет транспортно-экспедиторские услуги по определенному грузопотоку (навалочные грузы, генеральные и т. д.). Ее характеристики будут выступать базой для сравнения;
- определение основных критериев оценки;
- сбор информации — для каждого показателя может быть применен свой метод сбора;
- анализ показателей и определение возможностей применения полученных данных;
- адаптация лучших практических разработок для нашей компании и применение полученного опыта.

Некоторый опыт по проведению бенчмаркинга можно получить из опыта транспортных компаний [7]. Так, рассмотрим методику бенчмаркинга крупной судоходной компании России ОАО «Новошип». Бенчмаркинг включает в себя сравнительную оценку деятельности компании в основном бизнесе, определение слабых позиций, тормозящих успех, обеспечение условий для внедрения передовых технологий. Компании для бенчмаркинга определяются первым вице-президентом, принимая во внимание крупные современные судоходные компании, которые по сравнению с ОАО «Новошип»:

- имеют сопоставимую структуру флота;
- работают в тех же рыночных нишах, то есть являются ближайшими конкурентами;
- участвуют в тех же тендерах и конкурсах на перевозку грузов;
- рассматриваются экспертами в качестве «лидеров отрасли».

Бенчмаркинг определяет общее положение компании ОАО «Новошип» на рынке по всему комплексу значимых показателей, таких как:

- статус компании;

- состав, состояние, структура флота;
- состав, объемы, структура перевозок;
- системы и уровень менеджмента;
- сертифицированные системы управления;
- кадровый потенциал компании, система крояинга и подготовки персонала;
- система управления безопасностью;
- система технического менеджмента;
- система коммерческого менеджмента;
- система финансового менеджмента, финансовое положение компании;
- занимаемые позиции на фрахтовом рынке, «рыночные ниши»;
- взаимоотношения с «лидирующими» грузовладельцами, фрахтователями, брокерами;
- статистика аварийности и инспектирования судов;
- система и уровень «стратегического планирования», оценки долгосрочных и среднесрочных перспектив компании.

На основании анализа значимых параметров по вышеприведенным аспектам деятельности оценивается рейтинговый коэффициент, по которому определяется место компании в отрасли. В методике по проведению бенчмаркинга данной компании указывается, что данная процедура может быть осуществлена персоналом компании или сторонней организацией по договору с компанией. Также приведена методика оценки компании в рамках бенчмаркинга, которую проводит одна из известных зарубежных консультационных компаний. Каждый год крупнейшие судоходные компании предоставляют в данную консультационную фирму информацию по четырем направлениям: операционные издержки, эффективность перевозок (специализация судов, объемы перевезенного груза, заработанный фрахт, данные по неэксплуатируемым судам), безопасность деятельности (данные по авариям), финансовая информация. На основании этих отчетов компания проводит оценку всех судоходных предприятий, передает ее руководству и предлагает меры по совершенствованию деятельности. В консультационную фирму информация предоставляется в виде заполненного опросного листа, включающего множество пунктов. Например, по первому направлению должны быть указаны: зарплата всего плавсостава, продолжительность трудовых контрактов, работа в сверхурочное время, расходы на топливо, смазочные материалы, расходы на страхование, сюрвейерское обслуживание, ремонт, административные расходы и т. д., все достаточно подробно. По второму направлению указываются: эксплуатационное время работы судов, количество перевезенного груза, направления перевозок, время под погрузкой и выгрузкой, балластные переходы, сумма фрахта, демерреджа, непредвиденные расходы, брокерская комиссия, налоги, тайм-чартерный эквивалент и др. По третьему направлению фиксируются: случаи разлива нефти, объем разлива, количество инспекций Портнадзора, количество задержаний судов и др. По четвертому направлению приводятся основные финансовые показатели работы компании.

На основании вышеприведенного анализа необходимо определить алгоритм бенчмаркинга транспортно-экспедиторской компании.

Сначала необходимо решить, каким образом мы будем осуществлять выбор лучшей компании, по каким критериям, показателям? Мы предлагаем к использованию показатель доли рынка предприятия и его динамики. Данный показатель определяется как отношение объема экспедируемого груза данной компании к объему данного грузопотока в данном транспортном узле. Этот показатель достаточно точно указывает на успешность компании, а также прост в определении, так как компании обычно не скрывают объемы обслуживаемого груза и руководители предприятий, как правило, знают свою долю рынка и доли рынка конкурентов.

Автор данной статьи в работе [4, с. 47–60] оценивал взаимосвязь внутренних показателей развития компании и доли рынка. Кроме того, другие авторы также подчеркивают эту взаимосвязь. Так, Ю. А. Лепехина в статье [6, с. 117] подчеркивает, что «низкие результаты производственной деятельности стивидорной компании ОАО «Импортпищепром» привели к потере предприятием рыночной доли, несмотря на то что конъюнктура рынка была в целом благоприятна».

Критерии оценки деятельности транспортно-экспедиторской компании разделим на две группы: 1-я группа — показатели работы предприятия; 2-я группа — показатели, характеризующие конкурентоспособность данной услуги.

Итак, более эффективное использование ресурсов (основных фондов, оборотных средств, трудовых и финансовых ресурсов) создает определенные конкурентные преимущества для компании и позволяет удерживать свои позиции на рынке на более высоком уровне.

Эффективность использования ресурсов транспортно-экспедиторской компании зависит от следующих параметров:

- использования современной техники;
- совершенства технологии обслуживания груза;
- квалификации производственного персонала;
- эффективности управления предприятием;
- согласованности работы всех служб и других факторов.

Анализ интенсивности использования ресурсов и состояния вышеназванных параметров может быть осуществлен на основе показателей отдачи или емкости. В работе [4, с. 47–53] была определена взаимосвязь между показателями, отражающими эффективность использования ресурсов компании, и долей рынка, занимаемого предприятием. Такой анализ проведен на основе расчета коэффициента корреляции. Данное исследование проводилось на основе исходных данных по семи транспортно-экспедиторским предприятиям, работающим в Новороссийском транспортном узле, за три года работы. При этом компании имели различные доли рынка: от лидеров отрасли до аутсайдеров.

В качестве результативного признака используются показатели доли рынка компаний, а в качестве факторного — показатели эффективности использования ресурсов (оборачиваемость активов, фондоотдача, производительность труда, относительное снижение издержек, уровень финансовой независимости, уровень финансовой устойчивости и платежеспособность организации).

Для анализа влияния финансовой устойчивости на конкурентоспособность необходимо было дать комплексную оценку финансовой устойчивости с помощью обобщенного показателя. Для этого показателям финансовой устойчивости транспортно-экспедиторских компаний была присвоена оценка от 1 до 5 в зависимости от его фактических значений. Сопоставление значений приведено в табл. 1.

Для расчета комплексного значения финансовой устойчивости предлагается использовать следующую формулу:

$$K_{\text{ф.уст}} = \sum_{i=1}^4 A_i \cdot K_i, \quad (1)$$

где $K_{\text{ф.уст}}$ — комплексный коэффициент финансовой устойчивости;

A_i — коэффициент значимости единичного коэффициента для комплексного показателя устойчивости;

K_i — единичный коэффициент финансовой устойчивости.

Таблица 1

Сопоставление данных для расчета комплексного показателя финансовой устойчивости

Присвоенные значения	Коэффициент соотношения заемных и собственных средств	Коэффициент маневренности	Коэффициент структуры привлеченного капитала	Отношение дебиторской задолженности к кредиторской задолженности
10	0,7 и менее	Более 0,5	Более 0,9	Более 0,9
9	0,7–3,19	0,41–0,5	0,8–0,89	0,8–0,89
8	3,2–5,69	0,31–0,4	0,7–0,79	0,7–0,79
7	5,7–8,19	0,21–0,3	0,6–0,69	0,6–0,69
6	8,2–10,69	0,11–0,2	0,5–0,59	0,5–0,59

Таблица 1
(Окончание)

5	10,7–13,19	0,01–0,1	0,4–0,49	0,4–0,49
4	13,2–15,69	–0,09–0	0,3–0,39	0,3–0,39
3	15,7–18,19	–0,21–(–0,1)	0,2–0,29	0,2–0,29
2	18,2–20,69	–0,31–(–0,2)	0,1–0,19	0,1–0,19
1	20,7 и более	Менее –0,31	Менее 0,1	Менее 0,1

Единичные коэффициенты финансовой устойчивости имеют различную степень значимости в итоговом показателе. Так, коэффициент соотношения заемных и собственных средств и коэффициент маневренности отражают основные соотношения статей баланса, характеризующие финансовую устойчивость предприятия, а именно долю заемных средств и степень мобильности собственного капитала. Увеличение доли долгосрочной задолженности также повышает финансовую устойчивость, но является менее значимым показателем.

Для транспортно-экспедиторской деятельности характерна большая доля кредиторской задолженности поставщикам и подрядчикам, которая должна покрываться заказчиками услуг, то есть дебиторской задолженностью. Таким образом, этот показатель имеет приблизительно такую же значимость, как и предыдущий.

Ниже представлен один из вариантов распределения коэффициентов значимости единичных показателей финансовой устойчивости для комплексного показателя, одобренный экспертами:

- коэффициент соотношения заемных и собственных средств — 0,35;
- коэффициент маневренности — 0,35;
- коэффициент структуры привлеченного капитала — 0,15;
- отношение дебиторской задолженности к кредиторской — 0,15.

В экспертной оценке принимали участие 7 экспертов: экономисты и бухгалтеры транспортно-экспедиторских компаний. Для определения достоверности полученных данных был использован показатель степени согласованности мнений экспертов, который рассчитывается по формуле [2]:

$$L_{ij} = 100 - \frac{\sigma_{ij}}{x_{ij}} \cdot 100, \quad (2)$$

где L_i — степень согласованности мнений экспертов по коэффициенту весомости i -го единичного финансового показателя;

σ_i — среднее квадратическое отклонение фактической оценки значимости i -го финансового показателя от средней оценки;

$\bar{x}_i$ — средняя оценка значимости i -го финансового показателя в комплексном показателе финансовой устойчивости.

Степень согласованности мнений экспертов по значениям коэффициентов весомости единичных показателей финансовой устойчивости составила 84, 78, 73, 86 %. Данной оценке можно доверять, так как степень согласованности для всех коэффициентов весомости превышает 50 %.

Далее, используя метод корреляционного анализа, определены показатели деятельности транспортно-экспедиторского предприятия, которые оказывают наибольшее влияние на изменение доли рынка.

Оценка взаимосвязи приведена в виде табл. 2.

Таблица 2

Показатель взаимосвязи между долей рынка транспортно-экспедиторской компании и показателями эффективности использования ресурсов

Факторные признаки	Показатели взаимосвязи	Характеристика силы связи	Расчетное значение t -критерия Стьюдента
Оборачиваемость активов	0,2	Слабая	0,84
Фондоотдача	0,06	Практически отсутствует	0,28
Коэффициент оборачиваемости	0,17	Слабая	0,7

Таблица 2
(Окончание)

Производительность труда	0,42	Умеренная	2,1
Относительное снижение издержек	0,54	Заметная	2,7
Уровень финансовой независимости	0,20	Слабая	0,84
Уровень финансовой устойчивости	0,56	Заметная	2,6
Уровень платежеспособности	0,59	Заметная	3,2

В маркетинговых исследованиях результат анализа считается достаточно надежным, если коэффициент корреляции превышает 0,5 [8, с. 24–32]. Для получения выводов о взаимосвязи дана качественная оценка на основе шкалы Чеддока [9, с. 144–147].

Более весомым фактором, влияющим на долю рынка, выступает преимущество от грамотного управления финансовыми ресурсами компании, снижения издержек компании, что позволяет получать большую прибыль на каждый рубль вложенных затрат, а следовательно, иметь в своем распоряжении больше ресурсов для поддержания услуг на высоком уровне. Значительным фактором для успешной работы транспортно-экспедиторской компании является также эффективная организация работы персонала, интенсивность использования трудовых ресурсов, общий уровень образования.

Для оценки значимости коэффициента корреляции используется t -критерий Стьюдента [9, с. 144–147].

При этом определяется фактическое значение критерия по формуле

$$t_r = \sqrt{\frac{r^2}{1-r^2} \cdot (n-2)}, \quad (3)$$

где t_r — фактическое значение t -критерия Стьюдента;

r — коэффициент корреляции;

n — количество наблюдений.

Вычисленное по формуле (3) значение t_r сравнивается с критическим t_k , которое берется из таблицы значений t -критерия Стьюдента с учетом заданного уровня значимости p и числа степеней свободы $(n-2)$.

Для заданного уровня вероятности $p = 0,05$ и $(n-2) = 19$ степеней свободы получили, что расчетное значение t -критерия для взаимосвязи между долей рынка и показателями производительности труда превышает теоретическое, равное 2,09. На этом основании подтверждается заключение о статистической существенности зависимости между долей рынка и показателями производительности труда и рентабельности услуг. Для остальных показателей расчетное значение t -критерия меньше теоретического значения, что говорит о слабой связи.

Подводя итоги анализа показателей транспортно-экспедиторских компаний, можно сделать вывод о том, что наибольшее значение для успеха в данной отрасли имеют следующие преимущества:

- эффективное управление трудовыми ресурсами;
- оптимальное управление финансовыми ресурсами;
- снижение издержек.

Известно, что существенное влияние на динамику доли рынка компании оказывают характеристики услуги. Поэтому далее необходимо оценить влияние второй группы показателей (характеристик услуги) на изменение доли рынка.

В работе [4, с. 60–67] были предложены следующие характеристики транспортно-экспедиторской услуги:

- надежность обслуживания;

- сохранность физико-химических свойств груза;
- сохранность количества груза;
- время выполнения операций по доставке;
- уровень сервиса и полнота спектра предоставляемых услуг;
- уровень платы за доставку.

Рассмотрим эти характеристики в качестве оценочных показателей для бенчмаркинга.

С учетом вышеприведенных характеристик транспортной деятельности в целом и на основе исследования специфики транспортно-экспедиторской деятельности предложена система показателей для оценки конкурентоспособности транспортно-экспедиторской услуги.

В работе [1, с. 56–60] под надежностью обслуживания клиентов транспортно-экспедиторской компании понимается удовлетворение следующих требований:

- наличие стабильных грузопотоков;
- отказ от получения займов, акционирования и других рискованных операций;
- неукоснительное выполнение требований таможенной, налоговой службы и других государственных органов;
- своевременная оплата счетов порта, перевозчиков, прочих субподрядчиков;
- наличие страхового полиса.

По мнению автора статьи, поддержание минимального уровня надежности транспортно-экспедиторского обслуживания должно обеспечиваться созданием адекватной нормативно-правовой базы. Ведь под надежностью в первую очередь понимается безопасность на всех этапах транспортного обслуживания, необходимая как для клиентов и транспортных компаний, так и для общества в целом. Для уточнения характеристики надежности оказываемой услуги может быть использована следующая классификация свойств услуги [1, с. 56–60]:

- регламентные свойства, определяемые действующими нормативными актами и документами;
- договорные свойства, которые зафиксированы в договорах и соглашениях между экспедитором и клиентом.

Так, регламентные свойства должны устанавливаться в Законе о транспортно-экспедиторской деятельности, Положении о лицензировании и других нормативных актах. Под надежностью также понимается выполнение условий контрактов. В противном случае виновная сторона возмещает другой стороне убытки. Но в любом случае срыв в работе, неисполнение поручения отрицательно сказываются на конкурентоспособности транспортно-экспедиторской компании.

Следующим показателем, характеризующим надежность транспортных услуг, выступает сохранность физико-химических свойств груза и его количества в процессе переработки. Так, к случаям несохранности грузов относят случаи хищения, недостач, порчи и повреждения. Характерными признаками случаев хищения являются: срыв контрольных лент, замков или проволоки на грузовых местах, срыв пломб на контейнерах, явное вскрытие или взлом тары, подделка документов и оттисков пломб. Недостача грузовых мест и массы груза против данных, указанных в документах, может быть вызвана недогрузом, просчетом, неправильным определением массы груза, пересортицей, отгрузкой излишних мест, нечеткостью данных грузовых документов. Обстоятельства, связанные с возникновением любого случая несохранной доставки, должны быть расследованы. При расследовании устанавливаются причины данного брака, объем несохранности груза, прямой или косвенный виновник данного случая брака.

В сфере действия экспедиторов происходит большинство случаев брака (некачественный прием груза от отправителей, неудовлетворительная охрана и др.) [1, с. 63–65]. Поэтому уровень сохранности груза выступает одним из важных критериев конкурентоспособности транспортно-экспедиторских услуг. Обязанности экспедитора по сохранности груза фиксируются в договоре на экспедиторское обслуживание. Это свойство является договорным.

Для расчета уровня надежности обслуживания по договору используется регистрационный метод, основанный на использовании информации, получаемой путем фиксации наличия и под-

счета определенных событий или документов. Например, данные коммерческих отделов, связанные с претензионной работой.

Далее рассмотрим такой показатель, как время выполнения транспортно-экспедиторских операций. Выполнение обработки грузов в транспортных узлах в минимальные сроки также является фактором, влияющим на конкурентоспособность транспортных услуг. Сокращение времени нахождения груза в порту, на станции, ускорение погрузочно-разгрузочных работ способствуют увеличению оборачиваемости материальных ценностей, повышению темпов производства. Тогда как несвоевременная доставка вызывает аритмию в работе предприятий различных отраслей (прежде всего в работе энергетического, машиностроительного и аграрного комплекса), а при перевозках различных видов грузов (прежде всего режимных — опасных и скоропортящихся) — потерю исходного качества.

Общая продолжительность доставки груза от производителя к потребителю представляет собой сумму отрезков времени пребывания на вспомогательном транспорте, времени нахождения груза на основных видах транспорта, времени погрузочно-разгрузочных работ, времени хранения грузов на начальных, конечных и перевалочных пунктах. Величина стояночного времени в порту зависит от количества перерабатываемого груза, интенсивности грузовых операций, времени хранения груза на складах и выполнения различных вспомогательных операций в порту: прием—сдача груза, оформление документов, досмотры судна и груза различными инспекциями. Несомненно, наибольшую роль в сокращении срока доставки играют эксплуатационные скорости транспорта, валовая интенсивность грузовых работ и сроки хранения грузов в порту. Однако сроки исполнения экспедиторских поручений также важны и их сокращение в определенной степени влияет на качество предоставляемых транспортных услуг.

Мера полноты спектра оказываемых услуг, или уровень сервиса, может быть определен из выражения

$$S_{ni} = \frac{S_i}{S_{\max i}}, \quad (4)$$

где S_{ni} — показатель меры полноты обслуживания по i -му роду груза; S_i — количество фактически оказываемых услуг по i -му роду груза; $S_{\max i}$ — максимально возможное количество оказываемых услуг по i -му роду груза.

Относительный показатель цены характеризует уровень ставки экспедиторской комиссии и возможность предоставления скидок. Этот показатель может быть определен по формуле

$$P_i = \frac{P_{ki}}{P_{\max i}}, \quad (5)$$

где P_i — относительный показатель цены по i -му роду груза; P_{ki} — ставка экспедиторской комиссии i -го рода груза исследуемой компании и плата третьим лицам за выполненные услуги со скидками, долл./т; $P_{\max i}$ — ставка экспедиторской комиссии i -го рода груза транспортно-экспедиторской конторы ОАО «НМТП» и оплата работ третьим лицам без скидок, долл./т.

В статье [5, с. 128–129] мы предлагали использовать дополнительные характеристики транспортно-экспедиторских услуг, а именно:

1) имидж компании. При этом составляющими имиджа выступают возраст компании, степень известности (реклама компании), репутация предприятия (отзывы о компании на транспортных форумах, общественное мнение). В работе [3, с. 57] также подчеркивается эта сторона оценки транспортных компаний. Показатель «имидж компании» рассчитывается как среднее арифметическое от единичных показателей;

2) степень взаимодействия с другими транспортными компаниями и грузовладельцами. Здесь имеются в виду следующие формы взаимодействия:

2.1) независимые экспедиторские компании, которые оказывают услуги только по экспедированию и не входят в группу компаний;

2.2) компании, оказывающие комплексную услугу: экспедирование, агентирование, услуги таможенного брокера;

2.3) компания, входящая в транспортный холдинг.

Данные характеристики предлагается оценивать экспертам (табл. 3).

Таблица 3

Балльная шкала для экспертной оценки характеристик компании

Характеристика	Измеритель	Низкая степень	Средняя степень	Высокая степень
1. Имидж компании				
1.1. Возраст компании	Количество лет	Новая компания	До 10 лет	Более 10 лет
1.2. Степень известности	Количество отзывов о компании на транспортных форумах в сети Интернет	Наличие отрицательных отзывов	От 1 до 8 положительных отзывов	Более 8 положительных отзывов
1.3. Реклама компании	Интенсивность рекламной кампании	Отсутствие рекламы	Наличие заметной рекламы	Активная рекламная кампания
2. Степень взаимодействия с другими транспортными компаниями и степень комплексности услуги	Форма взаимодействия	Независимые компании	Комплексная услуга (экспедирование, агентирование, услуги таможенного, фрахтового брокера)	Компания, входящая в холдинг транспортных компаний

* — по усмотрению эксперта могут быть предложены промежуточные значения данных характеристик.

В работах исследуемым характеристикам присваивались экспертные балльные оценки.

На наш взгляд, в бенчмаркинге целесообразно использовать различные измерители, но также полезно использовать такие исследовательские процедуры, как описание и сравнение.

По аналогии с компанией ОАО «Новошип» приведем принципы отбора компаний для сравнения:

- компании, оказывающие сходный спектр услуг по экспедированию;
- фирмы, работающие в тех же рыночных секторах (обслуживают наливной, генеральный грузопоток и т. д.);
- крупные компании — лидеры отрасли.

Далее на основании вышеприведенного анализа сфер деятельности экспедиторских компаний и выбора важнейших для достижения успеха приведены базовые элементы для проведения бенчмаркинга: критерии оценки, метод сбора информации, показатели для оценки критерия в виде табл. 4.

Таблица 4

**Основные элементы бенчмаркинга
транспортно-экспедиторской компании**

Критерии оценки компании	Метод сбора информации	Показатели расчета или методика оценки	Примечание
Место компании на рынке экспедиторских услуг в целом и на данном секторе	Телефонный опрос конкурентов по объему обслуживаемого груза	Доля рынка компании	Компании обычно обмениваются такой информацией
Объемы грузопотоков	Телефонный опрос	Количество груза, обслуженного компанией	—

Таблица 4
(Окончание)

Уровень издержек компании	В данном случае может быть полезен метод наблюдений и опроса работников фирм-конкурентов, так как экспедиторы в своей деятельности постоянно сталкиваются с сотрудниками конкурентов	Затраты на зарплату, затраты на обслуживание транспорта, арендная плата за офис, за складские помещения, аренда транспортных средств	Данная информация является практически недоступной, поэтому здесь можно использовать метод наблюдений
Финансовое состояние	Анализ бухгалтерского баланса и отчета о прибылях и убытках	Финансовые коэффициенты, показатели платежеспособности	Наиболее трудно определяемые показатели в случае отказа компании от предоставления такой информации
Надежность	Регистрационный метод анализа контрактов, опрос клиентов о надежности компании	Наличие системы сертификации, случаи несохранной доставки груза, компетенция экспедиторов, наличие специального образования	Регистрационные методы не всегда применимы так как данные о контрактах — закрытая информация
Время обслуживания	Наблюдение, опрос клиентов	Наличие непредвиденных крупных задержек груза или ускорения в доставке	Информация о больших задержках и ускорении прохождения через транспортный узел, как правило, быстро распространяется в транспортной отрасли данного региона
Спектр услуг	Анализ рекламы	Перечень услуг, предоставляемых компанией	Информация является общедоступной
Уровень цен	Опрос клиентов, анализ рекламы	Уровень транспортно-экспедиторской комиссии, предоставление скидок	—
Имидж компании	Контент-анализ периодических транспортных изданий, транспортных сайтов и форумов в сети Интернет	Показатели расчета представлены в табл. 3	Контент-анализ — техника сбора информации, производимого на основе систематического выявления характеристик текстов в соответствии с целями исследования
Степень взаимодействия с транспортными компаниями	Анализ рекламы	Показатели расчета представлены в табл. 3	Общедоступная информация

Однако в бенчмаркинге недостаточно оценить деятельность компании по наиболее важным направлениям, важным является анализ причин достижения конкурентных преимуществ, и здесь все зависит от опыта руководителей предприятия. Для выявления и анализа причин повышения конкурентоспособности можно использовать метод построения древовидного графа. В вершине будет находиться основное преимущество деятельности компании. Ниже будут располагаться воз-

возможные причины достижения конкурентного преимущества, которые на более нижних уровнях будут конкретизироваться.

В работе представлен пример рассмотрения причин успеха конкурентов с помощью древовидного графа (рис. 1).



Рис. 1. Древовидный граф для анализа причин успеха у конкурентов

Как видно из рис. 1, все сферы деятельности транспортно-экспедиторского предприятия тесно взаимосвязаны. По данному графу можно определить также те мероприятия, которые можно реализовать в собственной компании.

Таким образом, в данной статье была исследована проблема применения бенчмаркинга в деятельности транспортно-экспедиторской компании. Сформулированы наиболее важные аспекты деятельности предприятия, оказывающие влияние на их успешность. На основе этого предложены критерии оценки деятельности компании, показатели для оценки, методы для сбора информации. Также предложено использование метода построения древовидного графа для анализа причин достижения конкурентного преимущества.

Список литературы

1. Бабкин Е. В. Управление качеством транспортной продукции / Е. В. Бабкин. — СПб.: СПГУВК, 1998. — 199 с.
2. Годин А. М. Маркетинг: учебник / А. М. Годин. — М.: Дашков и К°, 2009. — 672 с.
3. Ботнарюк М. В. Формирование конкурентной стратегии морского транспортного узла в контексте маркетинга взаимодействия: моногр. / М. В. Ботнарюк. — Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2012. — 168 с.
4. Иванова М. Б. Методические основы оценки уровня конкурентоспособности транспортно-экспедиторской компании: моногр. / М. Б. Иванова. — Новороссийск: МГА им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2008. — 96 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 им. адм. С. О. Макарова. — СПб., 2013. — Вып. 1. — С. 127–137.

6. Лепехина Ю. А. Анализ производственной деятельности ОАО «НМТП» в контексте современных тенденций на российском рынке перевалки наливных грузов / Ю. А. Лепехина // Журнал Университета водных коммуникаций. — СПб., 2013. — Вып. 1 (17). — С. 115–120.
7. Материалы по системе качества Отдела коммерческой эксплуатации ОАО «Новошип». — Новороссийск, 2010. — 764 с.
8. Морозов Ю. В. Основы маркетинга / Ю. В. Морозов. — М.: Издат. дом «Дашков и К°», 2001. — 156 с.
9. Общая теория статистики: статистическая методология в изучении коммерческой деятельности / под ред. А. А. Спирина — М.: Финансы и статистика, 2004. — 296 с.

УДК 656.61:004

С. В. Глушков,
д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой АИС,
ФБОУ ВПО «Морской государственный
университет им. адм. Г. И. Невельского»;

Н. Г. Левченко,
начальник отдела СИИ ЦИТ,
ФБОУ ВПО «Морской государственный
университет им. адм. Г. И. Невельского»;

Ю. Ю. Почесуева,
аспирант,
ФБОУ ВПО «Морской государственный
университет им. адм. Г. И. Невельского»;

Е. М. Коньков,
генеральный директор ОАО «DDP SERVICE»
(Владивосток)

ПОСТРОЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

DEVELOPMENT OF FUZZY LOGIC NEURAL NETWORKS MODEL OF TRANSPORT-LOGISTICS INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM

Предложен метод моделирования слабо формализованного процесса с учетом не только количественных оценок, но и качественных, нечетко заданных, не поддающихся формализации критериев и связей между ними. Модель разрабатывается для последующего исследования этого процесса, прогнозирования его поведения, оптимизации функционирования. Метод базируется на технологии нечетких нейронных сетей. Показан метод оптимизации процесса с использованием факторного анализа.

The proposed modeling method of hard formalized process regards not only qualitative data, but attribute (descriptive) as well as fuzzy defined non-formalized criterion & their connections. The model is developed for further process exploration with it's behavioral forecasting and operational optimization. The method is based on fuzzy neuron nets technology. The operational optimization method is shown with factor analysis.

Ключевые слова: интеллектуальные системы управления, информационная система, моделирование, нейросетевые технологии, нечеткая логика.

Key words: intellectual controlling systems, data system, modeling, neural network technologies, fuzzy logic.

СУЩЕСТВУЕТ основная логистическая миссия, так называемое *правило «7R»*: нужный товар (Right Product) необходимого качества (Right Quality) в необходимом количестве (Right Quantity) должен быть доставлен в нужное время (Right Time) и в нужное место (Right Place) нужному потребителю (Right Customer) с требуемым уровнем затрат (Right Cost). Задачу соблюдения этого правила решает провайдер логистический (PL). Существует пять уровней эволюции PL на основе *инсорсинга* (использование внутренних источников для обеспечения нормального хода производственного процесса) и *аутсорсинга* (использование подряда, привлечение внешних ресурсов для выполнения каких-либо работ, являющихся частью основной деятельности). В настоящее время активно используется 3PL — комплексный логистический сервис, выходящий за пределы простой транспортировки товаров. Например, в перечень услуг 3PL-оператора входит складирование, перегрузка, дополнительные услуги со значительной добавленной стоимостью, а также использование субподрядчиков. Для повышения конкурентоспособности необходимо применять системный подход к управлению всеми логистическими бизнес-процессами, то есть выходить на уровень 4PL, характеризующийся интеграцией всех компаний, вовлеченных в цепь поставки грузов. Впоследствии будет использоваться интернет-логистика, то есть управление всеми компонентами, составляющими единую цепь поставки грузов, с помощью электронных средств информации с использованием всех преимуществ интеллектуального транспортного пространства, то есть уровень 5PL [1, с. 6–9].

Сложность современных транспортно-логистических информационных систем (ИС) и их специализация привели к тому, что для их исследования, изучения свойств, прогнозирования поведения настала необходимость использования имитационного моделирования на основе систем искусственного интеллекта, включающего построение нейросетевой модели. Большую роль играет также выбор определенных технических средств, системного и прикладного программного обеспечения. Усложнение моделируемых объектов, а также неполнота и нечеткость исходной информации (сведения, которые размыты, смутны, неопределенны, неясны или неточны по своей природе), увеличение количества факторов из различных предметных областей приводит к тому, что наиболее подходящим и эффективным методом является метод моделирования с применением нечетких нейросетевых технологий. Основное достоинство этого метода заключается в способности алгоритма подстраивать структуру сети под новые наблюдения (факторы) и выявлять сложные (нелинейные) взаимосвязи между значениями входных и выходных данных [2]. Это гибридные интеллектуальные системы (ГИС), позволяющие более эффективно соединять формализуемые и неформализуемые знания. Они сочетают в себе достоинства нейронных сетей и систем нечеткого вывода, позволяют разрабатывать и представлять наглядные и содержательные модели систем в форме правил нечетких продукций, используя при этом методы нейронных сетей, что является более удобным и менее трудоемким процессом для системных аналитиков [3].

При выборе вида транспорта, оптимального для конкретной перевозки, основываются на следующих факторах:

- время доставки;
- частота отправок груза;
- надежность соблюдения графика доставки;
- способность перевозить разные грузы;
- способность доставки груза в любую точку территории;
- стоимость перевозки.

Построение логистической схемы движения товаров от производителя к потребителю требует организации последовательного использования транспортных средств доставки согласно сопрягаемости их технических и качественных характеристик: грузоподъемность оборудования, грузовместимость транспортного средства и оборудования. При планировании перевозки необходимо соотносить удельную грузовместимость выбираемого транспортного средства с удельным погрузочным объемом груза.

Основой выбора вида транспорта служит информация о характерных особенностях различных видов транспорта.

Автомобильный транспорт характеризуется рядом особенностей: высокая маневренность позволяет организовать перевозку с необходимой степенью срочности, обеспечивает регулярность поставки, по сравнению с другими видами транспорта предъявляются менее жесткие требования к упаковке груза. Скорость такой доставки, особенно при коротких расстояниях, выше, чем на ж/д и водном транспорте, а стоимость доставки может быть ниже. При перевозках на дальние расстояния преимущество автотранспорта теряется вследствие высокой себестоимости перевозок.

Ж/д транспорт характеризуется хорошей приспособленностью для перевозки различных партий грузов при любых погодных условиях. Он обеспечивает возможность доставки грузов на большие расстояния, регулярность перевозок. Удастся хорошо организовать выполнение погрузо-разгрузочных работ. Существенным преимуществом ж/д транспорта является сравнительно невысокая себестоимость перевозки грузов.

Авиационный транспорт по сравнению с другими видами транспорта обеспечивает высокую скорость перевозки грузов на большие расстояния. Однако возможности воздушного транспорта зависят от грузового пространства самолета и состояния взлетно-посадочной полосы аэродромов. Воздушный транспорт имеет преимущества с точки зрения потерь и убытков при транспортировке. Из-за того, что он очень дорогой, его используют только для разовых услуг.

К транспортным средствам водного транспорта относят суда морского и внутреннего водного транспорта. Морской транспорт является самым крупным перевозчиком в международных перевозках. Его основные преимущества — низкие грузовые тарифы и высокая провозная способность. К недостаткам морского транспорта относят его низкую скорость, жесткие требования к упаковке и креплению грузов, малую частоту отправок. Внутренний водный транспорт также характеризуется низкими грузовыми тарифами. К недостаткам, кроме скорости доставки, относят также низкую доступность в географическом плане [4].

Чтобы не усложнять саму нейронную сеть и не увеличивать время расчетов, следует остановиться на перевозке одного определенного вида груза (например, рис) из одного пункта А (например, Вьетнам) в пункт назначения В (например, центральная часть России) разными способами перевозки, включая морской путь, и соответственно различными видами транспорта суши.

Далее определяются оценивающие и влияющие на процесс перевозки факторы, а также их взаимосвязь. Обычно неизвестно все количество влияющих факторов и не все они явные. Поэтому выделяется некоторый набор критериев, который в процессе совершенствования модели может дополняться, не влияя на саму систему, зато качественно улучшая «портрет» объекта исследования.

Затем составляются правила нечетких продукций IF-THEN взаимодействия выявленных факторов. Формируются выборки для обучения нечеткой нейронной сети. Создается имитационная модель транспортно-логистического процесса в вычислительной среде MatLab (использовалась архитектура гибридной нейронной сети ANFIS с логическим выводом Сугено). На тестовых выборках из реальных данных проверяется работа модели и сравниваются результаты при помощи известных математических методов.

Итак, основываясь на знаниях экспертов, руководство и ведущие специалисты транспортно-логистического предприятия, занимающегося международными перевозками грузов, определяют восемь вариантов перевозок и их основные операции:

1. Груз формируется в контейнеры FESCO на складе поставщика — морская перевозка — выгрузка на открытую площадку торгового порта г. Владивостока — ж/д перевозка до склада получателя (рис. 1).

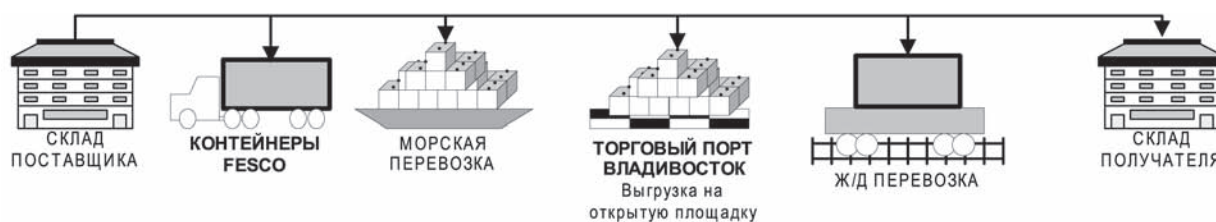


Рис. 1. Первый вариант перевозки

2. Груз формируется в контейнеры SINOKOR на складе поставщика — морская перевозка — выгрузка на открытую площадку рыбного порта г. Владивостока — ж/д перевозка до склада получателя (рис. 2).

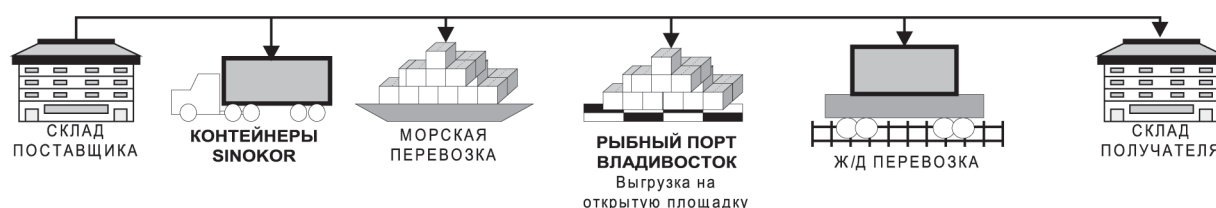


Рис. 2. Второй вариант перевозки

3. Груз формируется навалкой по 3 тыс. т на складе поставщика — морская перевозка — выгрузка на открытую площадку торгового порта г. Владивостока — ж/д перевозка до склада получателя (рис. 3).



Рис. 3. Третий вариант перевозки

4. Груз формируется навалкой по 3 тыс. т на складе поставщика — морская перевозка — выгрузка на открытую площадку рыбного порта г. Владивостока — ж/д перевозка до склада получателя (рис. 4).



Рис. 4. Четвертый вариант перевозки

5. Груз формируется в контейнеры FESCO на складе поставщика — морская перевозка — выгрузка на открытую площадку торгового порта г. Владивостока — автоперевозка — выгрузка на складе (г. Владивосток) — ж/д перевозка до склада получателя (рис. 5).



Рис. 5. Пятый вариант перевозки

6. Груз формируется в контейнеры SINOKOR на складе поставщика — морская перевозка — выгрузка на открытую площадку рыбного порта г. Владивостока — автопревозка — выгрузка на складе (г. Владивосток) — ж/д перевозка до склада получателя (рис. 6).



Рис. 6. Шестой вариант перевозки

7. Груз формируется в контейнеры FESCO на складе поставщика — морская перевозка — выгрузка в рыбном порту г. Новороссийска — ж/д перевозка до склада получателя (рис. 7).

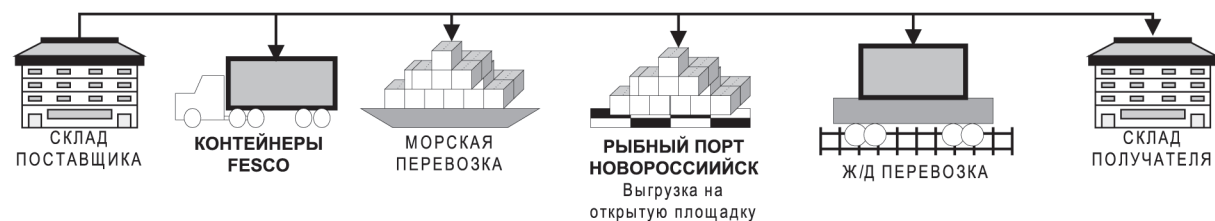


Рис. 7. Седьмой вариант перевозки

8. Груз формируется в контейнеры FESCO на складе поставщика — морская перевозка — выгрузка в рыбном порту г. Санкт-Петербурга — ж/д перевозка до склада получателя (рис. 8).

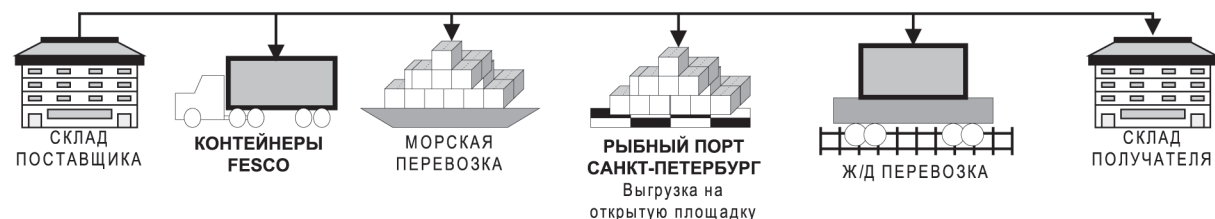


Рис. 8. Восьмой вариант перевозки

Для описания элементов нечеткой нейронной системы в процессе построения модели используются понятия нечеткого множества, лингвистической переменной и выполняется построение функции принадлежности нечетких множеств. Факторы, влияющие на процесс перевозки, определяются качественной оценкой. Так, лингвистическая переменная «отлично» на входе сети будет ограничена оценкой от 9 до 10, а лингвистическая переменная «хорошо» — от 7 до 8 и т. д.

Для построения обучающих выборок составляются правила нечетких продукций IF-THEN. Также учитывается взаимосвязь и значимость факторов относительно друг друга в каждом процессе-блоке (в таблицах ниже факторы расставлены по убыванию значимости). Каждый слой на

выходе определяет эффективность конкретного процесса, и это может быть не только стоимость самого процесса, а также и качество товара на выходе данного слоя (например, была ли потеря при автоперевозке) или время процесса, которое влияет в конечном итоге на быстроту перевозки, что отражается на рентабельности поставки товара. В процессе обучения нейронная сеть откорректирует заданные изначально приоритеты, построит графики функций принадлежности, а также возможные ошибки экспертов поправит весами (рис. 9).

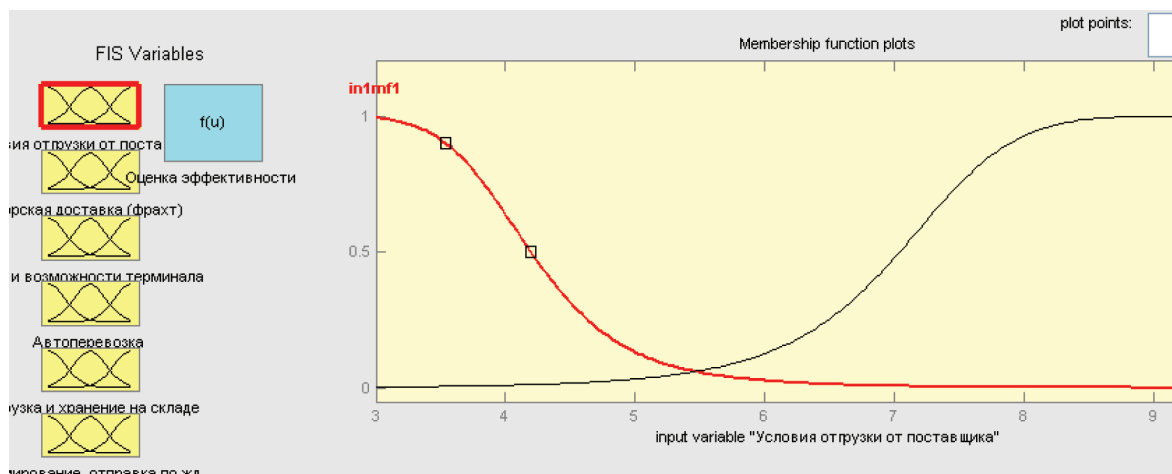


Рис. 9. График настройки параметров функции принадлежности с помощью графических средств системы MatLab

Первый блок системы (рис. 10) — это «Условия отгрузки от поставщика». По опыту экспертов самыми выгодными условиями отгрузки от поставщика являются погрузка в контейнер (например, 20 контейнеров по 25 т каждый), что соответствует заданным вариантам перевозок 1, 2, 5–10, а худшими условиями — навалкой (2000–3000 т), соответственно это варианты 2 и 3.

Основными факторами, влияющими на оценку эффективности в целом по поставке груза, являются «Срок готовности груза к погрузке» и «Порча, убытки». Эти факторы на данном слое нейронной сети являются равнозначными. Выходом данного блока транспортного процесса будет «Оценка эффективности отгрузки».

Следующий блок — «Морская доставка (фрахт)». (Факторы, влияющие на эффективность процесса каждого блока, указаны на рис. 10 в порядке убывания значимости.)

В этом блоке очень сложные взаимосвязи. Так, например, если перевозить груз контейнерами, то значения факторов 1–4 будут выше, чем в случае перевозки навалкой. С другой стороны, значение факторов 3 и 5 не только зависят от способа перевозки, но и взаимосвязаны.

Опыт экспертов показывает, что морская перевозка контейнерами эффективнее перевозки навалкой, так как снижается риск порчи товара, подготовка груза к отправке проходит быстрее, фрахт осуществить легче.

Третий блок — «Порт и возможности терминала». Важным в определении значений факторов в этом блоке будет мнение экспертов. Они считают, что рыбный порт использовать эффективнее, так как он обладает большей мощностью и свободными местами для выгрузки груза и меньшей стоимостью обработки груза. Груз, доставленный в порт контейнерами, эффективнее обработать, чем навалку.

Четвертый блок — «Автоперевозка».

В вариантах перевозок с 1-го по 4-й блок-процесс автоперевозки отсутствует, поэтому значение входящих и выходящего факторов равны максимальному значению 10.

В остальных вариантах, следуя опыту экспертов, выявляются связи: если автоперевозка осуществляется во Владивостоке, то она дешевле и срок ожидания вывоза короче, так как возможности выбора перевозчика больше, чем в Новороссийске и Санкт-Петербурге.

Пятый блок — «Выгрузка и хранение на складе».

В вариантах перевозок 1 и 2 процесс выгрузки и хранения на складе отсутствует, поэтому значения входящих и выходящего факторов равны максимальному значению 10.

В остальных вариантах следует полагаться на мнение экспертов: склад во Владивостоке лучше, чем в Новороссийске и Санкт-Петербурге, потому что имеет больше мощностей по обработке и места для хранения, а также в случае порчи груза во Владивостоке возмещают убытки.

Шестой блок — «Формирование груза, отправка по ж/д».

По опыту экспертов стоимость перевозки в простом вагоне дешевле, чем платформой для контейнеров, но, тем не менее, в вагоне существует больший риск порчи груза и потери. Эксперты считают, что отправлять груз со своего склада удобнее и быстрее, чем со склада порта, подать ж/д состав к порту намного проблематичнее.

Нечеткая нейросетевая модель состоит из шести блоков-модулей, каждый из которых реализовывает (нечеткой нейронной сетью) один блок соответственно из схем 1–8, представленных выше. И седьмой модуль модели — аккумуляция всех предыдущих модулей, входными данными нечеткой нейронной сети которого являются выходы модулей с 1-го по 6-й. В каждом модуле выделяется определенное количество факторов, влияющих на эффективность как отдельного процесса-блока, так и всей перевозки в целом (рис. 10). Для определения количества и величины каждого фактора и их значимости в каждом модуле следует полагаться на мнение и опыт экспертов.

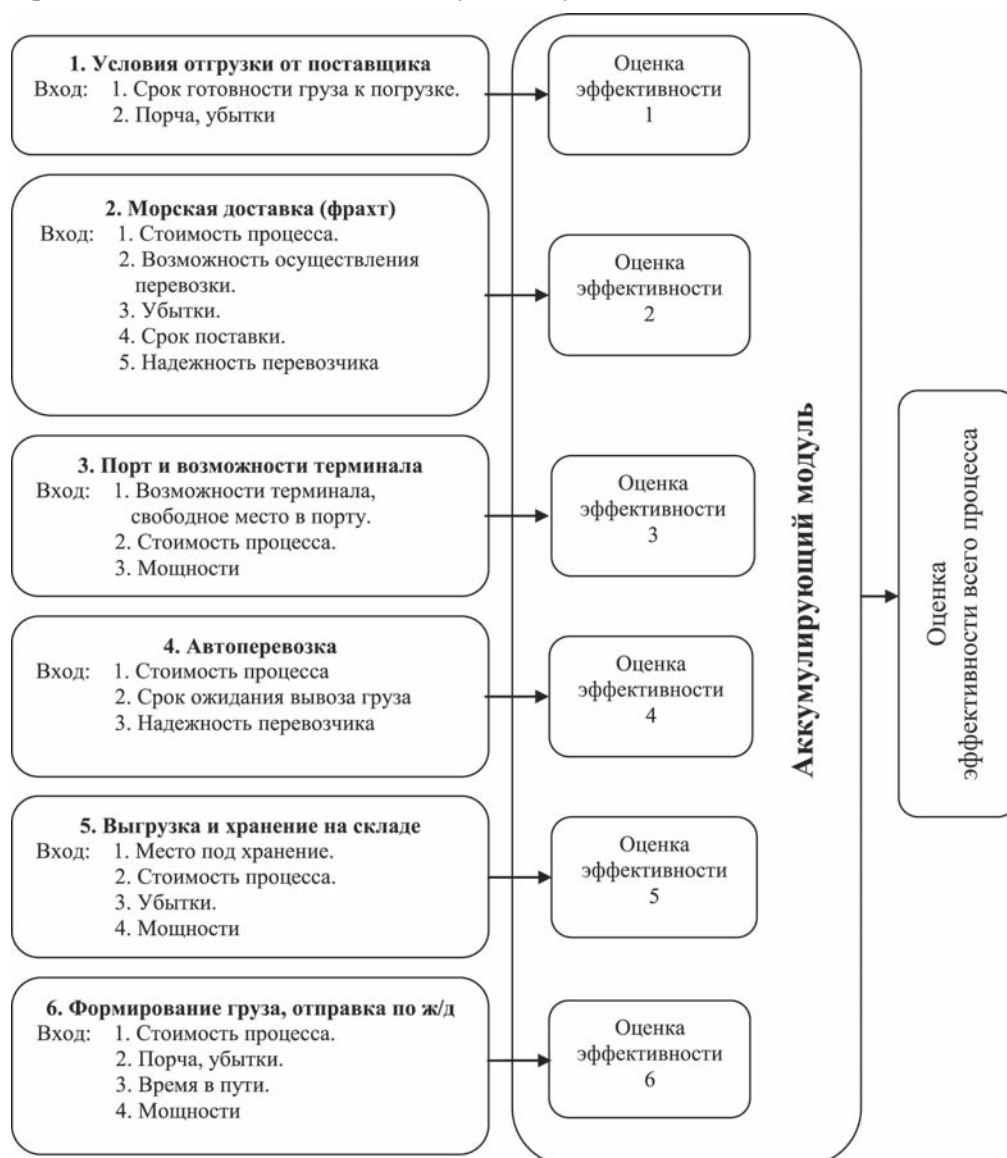


Рис. 10. Нечеткая нейросетевая модель ИСУ транспортного процесса

Обучение сети производилось на обучающих выборках всех 7 схем перевозок, исключая тестовую 6-ю. Тестирование показало высокую точность моделирования.

Например, результаты обучения и тестирования сети на 7-м аккумулярующем блоке показаны в табл. 1 и на рис. 11.

Таблица 1

Процесс обучения и тестирования сети 7-го блока

№ п/п	Условия отгрузки от поставщика	Морская доставка (фрахт)	Порт и возможности терминала	Авто-перевозка	Выгрузка и хранение на складе	Формирование груза, отправка по ж/д	Оценка процесса	Проверка	Δx	δ
6	8	8	8	8	8	7	9	8,98	0,02	0,00
6.1	9	9	9	7	9	8	10	9,63	0,37	0,04
6.2	10	8	10	9	8	8	10	9,89	0,11	0,01
6.3	7	9	10	9	9	7	9	9,01	0,01	0,00
6.4	8	9	8	8	8	8	9	9,36	0,36	0,04
6.5	9	8	9	9	9	8	9	9,23	0,23	0,03
6.6	10	9	9	7	8	8	10	10,30	0,30	0,03
6.7	7	9	9	7	9	7	9	9,23	0,23	0,03
6.8	8	9	8	9	9	8	9	9,01	0,01	0,00
6.9	9	9	9	8	9	7	9	9,16	0,16	0,02
6.10	10	10	10	9	8	7	10	9,89	0,11	0,01
6.11	7	9	10	9	9	8	9	9,13	0,13	0,01
6.12	8	9	8	8	8	8	9	9,16	0,16	0,02
6.13	9	8	9	9	9	8	10	9,87	0,13	0,01
6.14	10	9	10	8	9	7	10	9,01	0,99	0,10
6.15	7	9	8	9	8	8	9	8,96	0,04	0,00
6.16	8	9	9	7	9	8	9	8,87	0,13	0,01
6.17	9	9	10	9	9	7	9	9,20	0,20	0,02
6.18	10	10	9	7	8	8	10	9,89	0,11	0,01
6.19	7	8	9	8	9	8	9	9,02	0,02	0,00
6.20	8	9	9	9	8	8	9	9,03	0,03	0,00
6.21	9	9	8	8	9	7	9	9,30	0,30	0,03
6.22	10	9	9	7	9	8	10	10,20	0,20	0,02
6.23	7	10	10	9	9	7	9	9,04	0,04	0,00

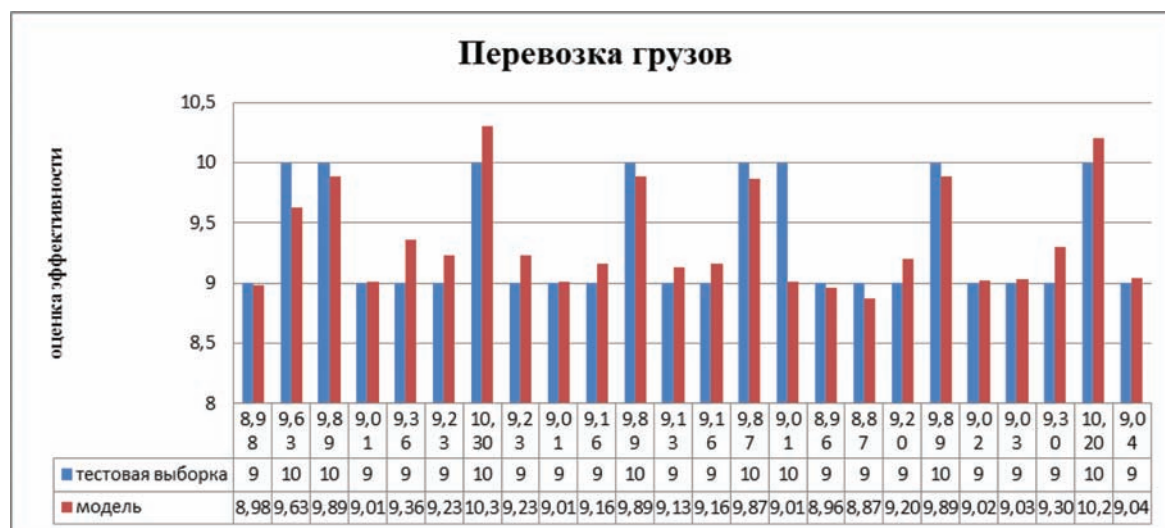


Рис. 11. Гистограмма тестирования аккумулярующего блока

Графический вид зависимости выходной переменной от входных показан в виде поверхности отклика, представленного на рис. 12.

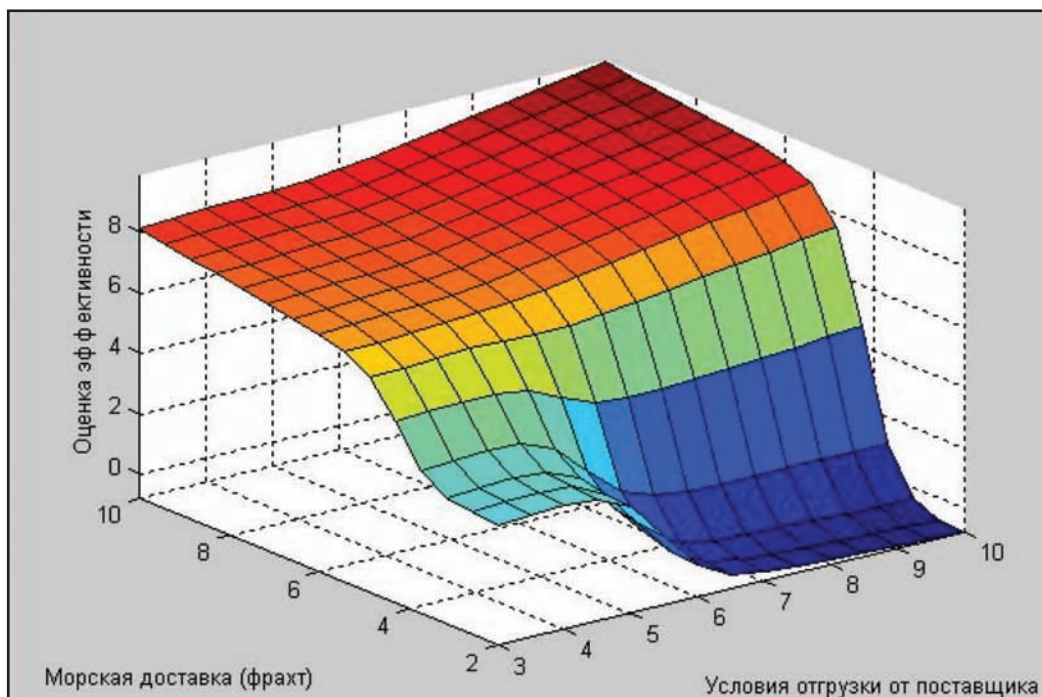


Рис. 12. Графический вид зависимости оценки эффективности от входных факторов

Сравнивая полученные системой оценки с соответствующими оценками эксперта, можно сделать вывод о практически точном совпадении этих значений. Приведенная диаграмма (рис. 11) также подтверждает этот вывод.

Абсолютная погрешность моделирования и относительная, рассчитанные по формулам (1) и (2), находятся в пределах от 0 до 0,99 и от 0 до 0,1 соответственно.

$$\Delta x = |x_{\text{модели}} - x_{\text{тест}}|, \quad (1)$$

$$\delta_x = \frac{|x_{\text{модели}} - x_{\text{тест}}|}{x_{\text{тест}}}. \quad (2)$$

Итак, модель готова к проведению на ней экспериментов.

Для факторного анализа вводятся следующие ограничения величины фактора: в 1-м случае на вход аккумулирующего 7-го блока модели подаются значения модуля 5 «Выгрузка и хранение на складе» 1–2 (лингвистическая переменная «плохо»), во втором случае эти значения 9–10 (лингвистическая переменная «отлично»).

Таблица 2

Факторный анализ. Ограничение фактора «Выгрузка и хранение на складе».

Вариант перевозки 3

№ п/п	Условия отгрузки от поставщика	Морская доставка (фрахт)	Порт и возможности терминала	Авто-перевозка	Выгрузка и хранение на складе	Формирование груза, отправка по ж/д	Оценка процесса эксперта	Оценка процесса модели	Факторный анализ Выгрузка и хранение на складе. Ограничение			
									не более 2	%	не менее 9	%
3	3	4	4	10	5	5	4	3,69	0,69	–81	7,22	96
3.1	5	5	4	10	4	6	5	5,06	2,03	–60	7,36	45
3.2	3	3	4	10	5	5	4	4,22	1,98	–53	7,14	69

Таблица 2
(Окончание)

3.3	5	4	3	10	4	6	4	3,77	1,15	-69	6,66	77
3.4	3	4	4	10	4	5	4	4,23	1,99	-53	7,24	71
3.5	5	5	3	10	4	6	5	5,23	2,03	-61	8,54	63
3.6	7	3	4	10	5	6	5	4,78	2,05	-57	7,21	51
3.7	9	4	4	10	5	6	5	5,01	2,12	-58	7,01	40
3.8	7	4	4	10	4	5	5	5,06	2,16	-57	6,79	34
3.9	9	5	4	10	4	6	5	4,89	2,01	-59	6,94	42
3.10	7	3	4	10	4	5	5	5,01	1,97	-61	7,02	40
3.11	9	4	3	10	4	6	5	5,14	2,56	-50	7,24	41

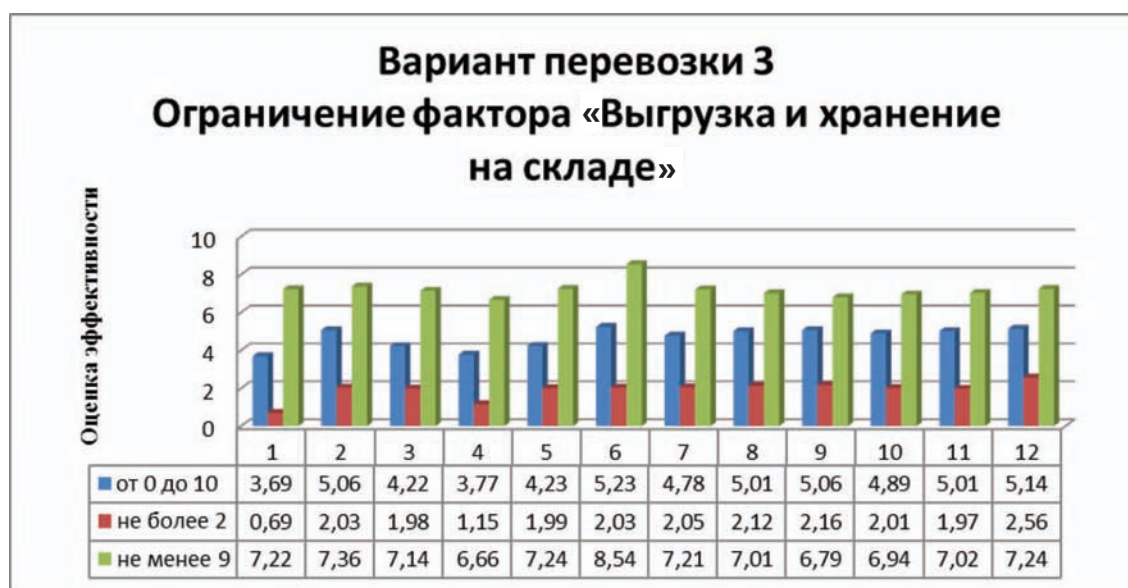


Рис. 13. Гистограмма факторного анализа

В результате факторный анализ по модулю 5 выявил высокую степень чувствительности модели к изменению значений. Этот вывод подтвердили и эксперты. Исходя из опыта руководящего звена, ведущих специалистов и экспертов этой организации, прежде чем начинать заказывать груз у поставщика, необходимо выяснить наличие места под его хранение на складах. Если не найдется подходящее место для хранения груза, то весь процесс, по мнению экспертов, в большинстве случаев не имеет смысла. Далее, чтобы определить значимость фактора «Место под хранение», проводится обратный процесс: производится перерасчет по 6 вариантам перевозок (за исключением 1-го и 2-го вариантов, где нет этого фактора) в 6 блоках модели.

Таблица 3

Факторный анализ. Ограничение фактора «Место под хранение»

Выгрузка и хранение на складе						Оценка процесса модели	Факторный анализ. Место под хранение — ограничение			
№ п/п	Место под хранение	Стоимость процесса	Убытки	Мощности	Оценка эксперта		не более 2	%	не менее 9	%
3	5	5	5	5	5	5,12	3,22	37	9,3	82
3.1	5	4	4	5	4	4,01	3,24	19	9,23	130
3.2	5	5	4	5	5	4,96	4,15	16	9,35	89

Таблица 3
(Окончание)

3.3	4	4	5	4	4	4,21	3,14	25	9,15	117
3.4	4	5	4	4	4	4,15	3,03	27	9,44	127
3.5	4	4	4	4	4	3,89	3,01	23	9,2	137
4	6	6	6	6	6	5,93	4,36	26	9,12	54
4.1	6	5	6	5	6	6,01	4,23	30	9,14	52
4.2	6	6	5	5	6	6,23	4,24	32	9,16	47
4.3	5	5	6	6	5	5,34	4,26	20	9,25	73
4.4	5	6	5	5	5	5,14	4,3	16	9,44	84
4.5	4	5	6	5	4	3,99	3,12	22	9,36	135
5	8	8	8	8	8	7,85	4,17	47	9	15
5.1	8	8	7	7	8	7,78	4,25	45	9,1	17
5.2	8	7	8	8	8	8,03	4,36	46	9,12	14
5.2	8	7	9	9	8	8,12	4,12	49	9,13	12
5.3	7	8	9	7	7	7,14	4,25	40	9,24	29
5.4	7	8	8	8	7	6,95	4,23	39	9,2	32
5.5	9	7	8	9	8	8,24	4,17	49	9,11	11
6	8	8	9	7	8	8,16	4,12	50	9,12	12
6.1	9	7	9	8	8	8,05	4,35	46	9,19	14
6.2	9	8	7	9	9	9,01	4,26	53	9,3	3
6.3	8	9	9	7	9	9,23	4,31	53	9,2	0
7	4	4	4	4	4	4,14	2,01	51	7,11	72
7.1	3	3	4	3	3	3,02	2,03	33	6,23	106
7.2	3	3	3	5	3	3,06	2,12	31	6,12	100
7.3	3	4	3	5	3	3,09	2,05	34	6,14	99
7.4	3	4	4	4	4	4,1	2,11	49	6,21	51
7.5	4	3	4	3	4	3,97	2,15	46	6,23	57
7.6	4	3	3	5	3	3,12	2,26	28	5,11	64
8	4	4	3	4	4	4,2	2,45	42	5,21	24
8.1	4	4	4	3	4	4,12	2,12	49	5,01	22
8.2	5	4	3	3	4	4,06	2,1	48	5,06	25
8.3	5	5	5	4	5	5,12	2,3	55	6,12	20
8.4	5	3	4	4	4	4,01	2,24	44	5,12	28
8.5	4	4	3	5	4	3,84	2,16	44	5,09	33
8.6	4	5	5	4	5	4,96	3,1	38	6,03	22

По ограничению фактора «Место под хранение» не более 2: максимальное изменение значения в худшую сторону на 55 % (8-й вариант перевозки); минимальное — на 16 % (4-й вариант перевозки).

По ограничению этого же фактора не менее 9: максимальное улучшение значения на 137 % (3-й вариант перевозки); минимальное — на 0 % (6-й вариант перевозки).

Если же рассматривать по каждому варианту перевозки отдельно и в среднем, то максимально и в худшую, и в лучшую сторону модель отреагировала на ограничения фактора в вариантах 3, 4, 7. Эта реакция модели вполне соответствует ожиданию экспертов.

В результате по ограничению фактора «Место под хранение» не более 2: максимальное изменение значения, причем в худшую сторону, на 55 % (8-й вариант перевозки); минимальное — на 16 % (4-й вариант перевозки).

По ограничению этого же фактора не менее 9: максимальное улучшение значения на 137 % (3-й вариант перевозки); минимальное — на 0 % (6-й вариант перевозки).

Если же рассматривать по каждому варианту перевозки отдельно и в среднем, то максимально и в худшую, и в лучшую сторону модель отреагировала на ограничения фактора в вариантах 3, 4, 7.

По оценкам экспертов, анализ показал, что модель адекватно реагирует на изменение факторов и готова для применения в режиме рабочего времени.

Выводы

Таким образом, в статье приведен один из методов моделирования плохо формализованного процесса — транспортно-логистический процесс — с использованием нечетких нейросетевых технологий. Модульная архитектура построенной нечеткой нейросетевой модели транспортно-логистического процесса может быть увеличена при помощи встраивания дополнительных модулей. Это позволит расширить информационную систему управления, увеличить ее возможности за счет детализации имитируемого процесса. Набор влияющих на транспортно-логистический процесс факторов в каждом модуле может дополняться в процессе совершенствования нечеткой нейросетевой модели, не влияя на саму систему (метод решения), зато качественно улучшая «портрет» объекта исследования (изучения) — информационную систему управления транспортно-логистическим процессом. Имитационная модель транспортно-логистического процесса пригодна для последующего исследования реального транспортно-логистического процесса, прогнозирования его поведения, оптимизации функционирования, для анализа различных ситуаций и поведения взаимодействующих элементов. Модель может быть использована для мониторинга и диагностики управленческих решений в динамическом режиме, так как позволяет моделировать реальные события и процессы, прогнозировать и предупреждать критические ситуации.

Список литературы

1. Степанов А. Л. Эволюция портов и экспедиторской деятельности — основа транспортной логистики / А. Л. Степанов // Эксплуатация морского транспорта. — 2007. — № 4 (50). — С. 6–9.
2. Круглов В. В. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода / В. В. Круглов, М. И. Дли. — М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2002. — 256 с.
3. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MatLab / С. Д. Штовба. — М.: Горячая линия–Телеком, 2007. — 288 с.
4. Москаленко М. А. Устройство и оборудование транспортных средств / М. А. Москаленко, И. Б. Друзь, А. Д. Москаленко. — 2-е изд. — СПб.: Лань, 2013. — 235 с.

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

УДК 656.6

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

А. В. Никифоров,
канд. экон. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

В. В. Ключев,
канд. техн. наук, профессор, главный специалист,
НПП «Фортекс»

О ВОЗМОЖНОСТЯХ СКВОЗНОГО ПЛАВАНИЯ ПО МАРШРУТУ БОЛЬШОГО ЕВРОПЕЙСКОГО ВОДНО-ТРАНСПОРТНОГО КОЛЬЦА СУДОВ РОССИЙСКОГО И ЗАПАДНОЕВРОПЕЙСКОГО ФЛОТОВ

THE POSSIBILITIES OF SAILING OF RUSSIAN AND WESTERN EUROPE COUNTRIES VESSELS AROUND THE ROUTE OF BIG EUROPEAN WATER TRANSPORT RING

В статье рассмотрены вопросы освоения судами российского флота и флота западноевропейских стран сквозного маршрута, проходящего по внутренним водным путям международного значения Западной Европы и европейской части РФ. Указаны существующие ограничения, препятствующие освоению этого маршрута для судов Западной Европы и РФ.

The article considers the questions concerning sailing vessels of Russian Federation and Western European Countries along the route going through international inland waterways of Western Europe and Russian Federation. Restrictions which don't permit to sail along this route for ships of Western Europe and Russian Federation are shown.

Ключевые слова: Большое европейское водно-транспортное кольцо, внутренние водные пути международного значения, осадка, минимальная высота прохода под мостами, суда флота России и Западной Европы.

Key words: Big european water transport ring, international inland waterways, draft, air draft, vessels of Western European and Russian fleet.

ЕВРОПЕЙСКОЕ соглашение о важнейших внутренних водных путях международного значения, или Соглашение о международных водных путях (далее — СМВП), было заключено в январе 1996 г. и открыто для подписания до 30 сентября 1997 г. Россия присоединилась к СМВП 27 сентября 1997 г. Подписание было утверждено Постановлением Правительства РФ от 21 июля 2000 г. № 547.

СМВП устанавливает классификацию ВВП с разбивкой их на 7 классов [1]. Малые водные пути 1–3-го классов относятся к путям местного значения, или к региональным, а к международным, или ВВП категории Е, относятся только водные пути класса 4 и выше, которые обеспечивают проход судов длиной 85 м, шириной 9,5 м и осадкой не менее 2,5 м. Классификация ВВП

международного значения приведена в табл. 1, а карта ВВП международного значения приведена на рис. 1.

При рассмотрении характеристик ВВП следует иметь в виду, что осадка (d) и минимальная высота прохода под мостами (H), приведенные в таблице, указываются по отношению к низкому судоходному уровню воды (НСУВ) для осадки и к самому высокому судоходному уровню воды (ВСУВ) для высоты прохода под мостами. НСУВ соответствует долгосрочному среднему уровню воды, который достигается или превышает в течение всего свободного ото льда периода, за исключением 20 дней в году (приблизительно 5–6 % продолжительности свободного ото льда периода). ВСУВ соответствует уровню, который сохраняется в течение не менее 1 % продолжительности периода навигации и который определяется на основе наблюдений в течение нескольких десятков лет, исключая периоды наличия льда.

Всего в Европе более 27 тыс. км внутренних водных путей, из которых около 22 тыс. км относятся к международным. В данной статье рассматриваются только внутренние и прибрежные водные пути на маршруте так называемого **Большого европейского водно-транспортного кольца** (далее — БЕВК). Начиная от Черного моря и двигаясь по часовой стрелке, этот маршрут включает в себя следующие международные водные пути: **Е80** — от устья р. Дунай вверх по течению 2412 км до г. Кельхейм, далее — канал Майн–Дунай и р. Майн;

Е80 (Е10) — р. Рейн вниз по течению от г. Майнца до г. Кобленца, где Е80 поворачивает на запад по р. Мозель, имеет двойную нумерацию;

Е10 — р. Рейн от г. Кобленца до Северного моря по территориям Германии и Нидерландов;

Е60 — прибрежный маршрут по Северному морю, Кильскому каналу и Балтийскому морю до г. Санкт-Петербурга;

Е50 — по Волго-Балтийскому водному пути и р. Волге до г. Волгограда;

Е90 — по Волго-Донскому судоходному каналу и р. Дон и морской прибрежный маршрут Е90 до устья р. Дунай, таким образом замыкая кольцо.

Общая протяженность пути по БЕВК превышает 10 тыс. км, из которых 3745 км составляют ВВП Российской Федерации, около 3500 км — ВВП семи западноевропейских стран и остальное — прибрежные маршруты в морях Северном, Балтийском, Азовском и Черном.

Таблица 1

Классификация европейских внутренних водных путей международного значения

Тип водных путей	Класс водных путей	Самоходные суда и баржи					Толкаемые составы					Минимальная высота под мостами	
		Тип судна: общие характеристики					Тип состава: общие характеристики						
		наименование	максимальная длина	максимальная ширина	осадка	тоннаж		длина	ширина	осадка	тоннаж		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Н (м)	13
Международного значения	IV	Судно типа «Йоганн Велкер»	80–85	9,5	2,50	1000–1500	Толкач + баржа	85	9,5	2,50–2,80	1250–1450	5,25 или 7,00	
	Va	Большие рейнские суда	95–110	11,4	2,50–2,80	1500–3000	Толкач + баржа	95–110	11,4	2,50–4,50	1600–3000	5,25 или 7,00 или 9,10	
	Vb						Толкач + 2 баржи	172–185	11,4	2,50–4,50	3200–6000	7,00 или 9,10	
	VIa						Толкач + баржа баржа	95–110	22,8	2,50–4,50	3200–6000	7,00 или 9,10	
	VIb		140	15,0	3,90		Толкач + 2 баржи 2 баржи	185–195	22,8	2,50–4,50	6400–12000	7,00 или 9,10	
	VIc						Толкач + 3 баржи 3 баржи	270–280	22,8	2,50–4,50	9600–18 000	9,10	
							2 баржи Толкач + 2 баржи 2 баржи	195–200	33,0–34,2	2,50–4,50	9600–18 000	9,10	
	VII						3 баржи Толкач + 3 баржи 3 баржи	275–285	33,0–34,2	2,50–4,50	14 500–27 000	9,10	

Классы I–III не приводятся в настоящей таблице, поскольку они имеют лишь региональное значение.

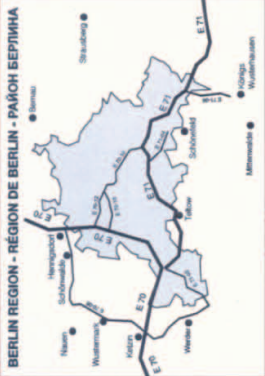


Рис. 1. Схема европейских ВВП международного значения

Как следует из приведенного выше описания маршрута БЕВК, часть его, соединяющая ВВП Западной Европы и Российской Федерации, проходит по прибрежным районам Северного и Балтийского морей на севере кольца и Черного и Азовского на юге. Суда, использующие эти прибрежные маршруты, должны соответствовать всем требованиям Международной морской организации (ИМО) для судов, плавающих в прибрежных районах.

Анализ состава флота, эксплуатирующегося на ВВП Западной Европы и Российской Федерации, приводит к выводам, что большинство судов западноевропейских стран (табл. 2) не соответствуют требованиям ИМО и не могут быть использованы для сквозного плавания по БЕВК. Для плавания по российским ВВП Единой глубоководной системы европейской части РФ компаниям Западной Европы потребуются суда река–море плавания, так как российские водные пути отделены от западноевропейских морскими районами Балтийского, Северного, Черного, Азовского морей, а приведенные в табл. 2 суда относятся к классу судов внутреннего плавания. Частично задачи по заходам на ВВП РФ с моря могут решать суда-костеры (суда прибрежного плавания) Финляндии, Норвегии, Голландии, Германии.

Таблица 2

Характеристики типовых судов, использующихся на ВВП Западной Европы

№ п/п	Наименование судна	Характеристики			
		длина, L, м	ширина, B, м	осадка, d, м	грузоподъемность, Q, т
1	Spits-Peniche	38,5	5,05	2,2	350
2	Kompenaar-campinols	63	6,6	2,5	550
3	Dortmunder	67	8,2	2,5	900
4	Ro-Ro ship	110	11,4	2,5	72 конт.*
5	Tanker	110	11,4	3,5	3000
6	Car Ro-Ro vessel	110	11,4	2,2	600
7	Neo Kemp	110	11,4	3,0	132 конт.*
8	Containership	110	11,4	3,0	200 конт.*
9	Containership-Iowi-class	135	17,0	3,0	470 конт.*

*— 20-футовые контейнеры.

Флот Российской Федерации располагает значительным числом судов смешанного река–море плавания (табл. 3), способных плавать в прибрежных районах БЕВК и соответствующих требованиям ИМО. Однако габариты этих судов вызывают затруднения при плавании по западноевропейской части БЕВК в связи с ограничениями по осадке (d), надводным габаритам (H) и ширине судна (B).

Внутренние водные пути и судоходные гидротехнические сооружения РФ по своим габаритным характеристикам в состоянии уже сегодня принимать имеющиеся в распоряжении европейских стран суда, грузоподъемность, габариты и осадка которых в большинстве случаев меньше тех же характеристик российских судов.

Таблица 3

Основные габаритные характеристики российских судов река–море плавания [2]

№ п/п	№ проекта	Название	Характеристики				
			длина, L, м	ширина, B, м	осадка, d, м	высота, H, м	грузоподъемность Q, т
1	—	СТК	87,93	12,20	3,68	14,1	1700
2	787	Ладога 101	82,50	11,28	4,0	9,7	1885
3	1743	Омский	108,40	15,00	2,83	14,10	2500
4	613	Балтийский 101	95,00	13,00	3,65	16,45	2000
5	2-95A	Волго-Балт	1814,00	13,23	3,60	13,42	2560
6	16291	Балтийский	89,580	13,20	3,60	13,20	2710
7	292	Сибирский	128,30	15,60	3,00	15,65	2870

Таблица 3
(Окончание)

8	617/1557	Сормовский	114,06	13,00	3,75	15,62	3000
9	488АМУ	Сормовский 3060	118,70	13,20	3,75	16,13	3000
10	92040	АМУР	115,91	13,00	4,00	15,84	2800
11	—	Волжский-7	107,40	16,50	3,86	16,00	3000
12	—	Волго-Дон 5035	138,30	16,50	1,84	15,90	3800
13	19610	Волга-4001	140,00	16,65	4,52	16,99	5500

Наибольшие затруднения для судоходства российских судов представляют малые проходные глубины на дунайских фарватерах, особенно в меженное время. Например, в сентябре 1992 г. на перекатах пограничного (Румыния–Болгария) участка реки (402–864 км) глубина воды была не более 1 м, на венгерском участке реки в настоящее время составляет всего 1,7 м, в то время как осадка российских судов составляет 3,5–4,0 м.

Существенные трудности для судоходства представляет также недостаточная высота судоходных пролетов многих дунайских мостов. Всего через Дунай на рассматриваемом участке БЕВК перекинуто около 70 мостов. Большинство мостов имеют высотный габарит 6 м и более, в то же время в верхнем течении реки (н. п. Пфаттер, Даггендорф, Пассау) имеются три моста с проходным габаритом 4,61–4,74 м, минимальную высоту для прохода под мостами имеет проект 787 — 9,7 м, а у остальных судов значительно выше (13–16 м).

Ограничения для прохода российских судов представляет ширина камер шлюзов на Верхнем Дунае и на канале Майн–Дунай, которая составляет 12 м, что допускает проход судов с шириной корпуса не более 11,4 м. Поэтому габаритному показателю возможен проход только судов проекта 787.

Кроме того, непроходным по габаритам российских судов является участок р. Майн (Е80) от г. Бамберга вниз по течению до устья в г. Майнце протяженностью 388 км, который имеет класс Vв, преимущественную проходную глубину 2,7 м, минимальную ширину судового хода 40 м и высотный проходной габарит под мостами 6,0 м. Участок р. Рейн между г. Майнц и Сент-Гоар имеет судовой ход ограниченной ширины и глубины (в маловодный период менее 1,9 м), проходной подмостовой габарит высотой 9,1 м.

Из вышеизложенного следует, что суда смешанного река–море плавания, принадлежащие российским судовладельцам, способные проходить по морским прибрежным районам БЕВК, не проходят в большинстве районов западноевропейской части БЕВК либо по осадке (d), либо по надводным габаритам (H) и ширине судна (B).

С учетом указанных ограничений существующие российские суда могут заходить в Дунай (примерно на 200 км) и Рейн (примерно на 80 км).

Для решения задачи по транспортному освоению маршрута БЕВК российским флотом необходимо спроектировать и построить суда река–море плавания специально для работы на этом маршруте.

В связи с этим возникают вопросы, связанные с экономической целесообразностью строительства судов такого типа:

Во-первых, следует исследовать, имеются ли достаточные и стабильные грузопотоки из России в страны ЕС и в обратном направлении, обеспечивающие приемлемую окупаемость проекта для привлечения инвесторов.

Во-вторых, рассматривая вопросы освоения БЕВК российским флотом, следует иметь в виду, что ВВП в Западной Европе весьма перегружены собственными судами. Например, интенсивность судоходства по р. Рейн настолько велика, что Центральная рейнская комиссия (Страсбург) приняла постановление о том, что при вводе в эксплуатацию нового судна необходимо либо предъявить документ о выводе из строя и списании старого судна, либо внести довольно значительную сумму на развитие путевых условий.

В третьих, следует учитывать затраты, связанные с установкой на российских судах дополнительного навигационного оборудования в соответствии с требованиями Рейнской и Дунайской комиссий и на получение членами российских экипажей дополнительных лицензий.

Список литературы

1. Европейская экономическая комиссия. Перечень основных характеристик и параметров сети водных путей категории Е. «Синяя книга». — 2-е пересмотр. изд. / ООН. — Нью-Йорк; Женева, 2012.
2. Морской флот: технико-экономические характеристики: справ. / Минтранс РФ, ЦНИИМФ. — СПб., 2002. — Т. 1.

УДК 336

И. П. Скобелева,
д-р экон. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

Е. В. Бунакова,
канд. экон. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ КОМПАНИЙ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА РОССИИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ИХ ИНВЕСТИЦИОННУЮ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ

PARTICULAR PROPERTIES OF FUNCTIONING AND DEVELOPING OF WATER TRANSPORT COMPANIES IN RUSSIA DEFINING THEIR INVESTMENT ATTRACTION

Рассматриваются специфика деятельности крупных компаний в сфере водного транспорта России; факторы, формирующие их инвестиционную привлекательность, и потенциал ее повышения; влияние фундаментальных процессов современной приватизации, интернационализации и интеграции транспортного бизнеса, его включения в национальную и мировую финансовую систему.

In the article the following problems are considered: a specific character of major companies in the field of water transport in Russia; factors forming their investment attraction and the potential of its increasing; influence of fundamental processes of modern privatization, internationalization and integration of transport business, its including into the national and world financial systems.

Ключевые слова: транспорт, интегрированные транспортные компании, приватизация, инвестиционная привлекательность, интеграция, диверсификация.

Key words: transport, integrated transport systems, privatization, investment attraction, integration, diversification.

ТРАНСПОРТНЫЕ компании России формируют транспортную инфраструктуру отечественной экономики, ее международные торговые связи, транзитный потенциал страны, эффективность развития которых является ключевыми факторами экономического роста.

Транспортная отрасль является одной из наиболее капиталоемких, здесь велика доля основных производственных фондов, которые на сегодняшний день существенно изношены. Необходимость модернизации основных фондов транспорта, а также развитие отрасли в целом обеспечиваются как за счет государственного финансирования, так и за счет рыночных методов финансирования инвестиций.

Для успешного развития транспорта необходимо в полной мере использовать возможности фондового рынка, который позволяет привлечь значительные средства инвесторов за счет использования различных финансовых инструментов. Важную роль в финансовом обеспечении инвестиционных проектов компании играют базовые инструменты рынка ценных бумаг — акции и корпоративные облигации, позволяющие удовлетворить долгосрочные потребности в капитале.

В настоящее время можно выделить следующие ключевые особенности функционирования отечественных транспортных компаний.

1. Российская экономика характеризуется весьма значительным присутствием государства, в том числе в капитале транспортных компаний. Это снижает привлекательность компаний для частных инвесторов. Приватизация государственных пакетов акций крупнейших транспортных компаний и, таким образом, расширение рыночных инструментов их развития могут при определенных условиях привести к росту фондового рынка как поставщика ресурсов развивающегося бизнеса.

2. Крупнейшие транспортные компании России представляют собой сложно структурированный интегрированный бизнес, акционерами которого являются резиденты и нерезиденты Российской Федерации. Однако необходимо отметить, что деятельность таких групп непрозрачна и это существенно снижает их инвестиционную привлекательность.

3. В России наблюдается тенденция интеграции транспорта, особенно портов и судоходных компаний, и крупномасштабного бизнеса ресурсопроизводящих отраслей. На определенном горизонте их стратегического развития это создает возможности оптимизации деятельности транспортных компаний (в рамках целей холдинга), что является фактором повышения их инвестиционной привлекательности.

4. Система управления в транспортных компаниях, как правило, не нацелена на рост стоимости для акционеров. Изменение парадигмы управления позволит использовать и развить потенциал фондового рынка.

Перечисленные особенности в полной мере характерны и для компаний водного транспорта.

Рассмотрим возможности и проблемы повышения инвестиционной привлекательности компаний водного транспорта в рамках названных особенностей.

В 2012–2013 гг. в отрасли водного транспорта, и особенно в портовом секторе, активно происходили и продолжаются процессы приватизации.

В октябре 2012 г. был продан 25,5 %-ный пакет акций ОАО «Мурманский морской торговый порт» (ММТП), принадлежащий государству. Владельцами стали ОАО «Сибирская угольная энергетическая компания (СУЭК)» и “Alfa Capital Holdings (Cyprus) Limited”. ММТП — практически единственный крупный перевалочный пункт угля в Северном морском бассейне. При этом ранее ММТП сообщал, что 47,65 % акций порта приобрели компании “Montague Management Limited” (16,2 %), “Roman Capital Holdings Ltd” (12,68 %) и “Mollie ventures corp.” (18,68 %). По информации Reuters, за офшорными структурами в данном случае может стоять СУЭК. Таким образом, СУЭК получила контроль над ключевым пунктом по перевалке угля в европейской части России.

Одним из важнейших достоинств ММТП является то, что его акватория не замерзает и порт способен работать круглый год. Через него экспортируется больше угля, чем через порты «Санкт-

Петербург», «Кандалакша», «Выборг» и «Высоцк», вместе взятые. Основное направление экспорта — страны Западной Европы. Технологически ММТП может перегружать до 20 млн т грузов, в том числе 12–14 млн т угля в год.

В декабре 2012 г. состоялся тендер по приватизации 55 % акций ОАО «Ванинский морской торговый порт» (ВМТП). Победителем аукциона стало ООО «Мечел-Транс» (являющееся дочерней компанией ОАО «Мечел»), выкупившее долю за 15,5 млрд рублей. По данным агентства RBC, данный пакет был в дальнейшем перепродан трем кипрским офшорам, не связанным с «Мечелом» («Оперн Трейд Лтд.», «Седмино Инвестментс Лтд.» и «Травине Трейдинг Лтд.») с 23,68 % обыкновенных акций каждому, «Мечел» оставил себе 1,5 % обыкновенных акций. Сумма сделки и новые акционеры порта «Мечелом» не раскрываются; по заявлению, «Мечел», несмотря на продажу акций, оставляет за собой право управлять портом.

ВМТП входит в пятерку крупнейших морских портов России на Дальнем Востоке и в десятку — по России; порт имеет выгодное экономико-географическое положение — прямую связь с Байкало-Амурской и Транссибирской магистралями; порт универсален, так как обрабатывает уголь, цветные и черные металлы, лес и пиломатериалы, руду, контейнеры, автотехнику; глубина у причалов порта позволяет принимать и обрабатывать суда дедвейтом до 45 тыс. т; порт «Ванино» ценен единством своей инфраструктуры. Это отличает его от большинства крупных портов России, которые в 1990-е гг. были разделены на отдельные стивидорные компании.

В 2013 г. планируется приватизация 20 % акций уставного капитала ОАО «Новороссийский морской торговый порт» (НМТП). При этом еще окончательно не определена форма приватизации. В настоящее время идут дискуссии о способах приватизации акций порта — рассматриваются как публичные рынки, так и сделки со стратегическими инвесторами, в качестве которых рассматривается ряд компаний, которые заинтересованы в развитии портовой инфраструктуры. Стоит отметить, что порядка 10 % уставного капитала НМТП может быть размещено на зарубежных площадках.

Приватизация трех портов, а также некоторых других транспортных активов положила начало реализации госпакетов крупнейших транспортных компаний.

По Распоряжению Правительства РФ от 31 января 2013 г. № 101-р в 2013 г. планируются к приватизации пакеты акций следующих компаний водного транспорта: Амурского пароходства, Иртышского пароходства, Ленского объединенного речного пароходства, Сахалинского морского пароходства, Северного морского пароходства, Северного речного пароходства. В 2013 г. планируется также приватизация ОАО «Совкомфлот» путем первичного публичного размещения акций (IPO) этого транспортного актива государства.

Однако сроки подготовки к приватизации крупных компаний невозможно полностью спрогнозировать. В настоящее время государство вынуждено откладывать приватизацию, в том числе «Совкомфлота», в связи с резким падением цен на акции госпакета (главной причиной которого являются события на Кипре).

Необходимо отметить, что в условиях планово-административной системы управления экономикой СССР ведомственная составляющая транспортной отрасли была весьма ограничена. Транспорт общего пользования страны, будучи государственной собственностью, выполнял основные функции доставки грузов и пассажиров. Его деятельность строилась на основе централизованно разрабатываемых схем нормальных грузо- и пассажиропотоков, отражающей эффективность и преимущества отдельных видов транспорта, рациональное распределение транспортных потоков в рамках единой транспортной системы страны, развитие международных транспортных связей.

Рыночная экономика принципиально изменила и продолжает изменять структуру собственности транспортных корпораций, структуру транспортного рынка и векторов развития транспорта.

В настоящее время ряд портов и судоходных компаний входят в состав мощных корпораций нетранспортного сектора, главным образом производящих и реализующих сырье на экспорт, ко-

которые приобретают транспортные компании для оптимизации затрат на транспортировку своей продукции. С позиции экономики России этот фактор является мультипликатором воспроизводства диспропорций в экономике страны — ее сырьевой направленности и зависимости. С позиции транспортных компаний России такая тенденция может оживить инвестиционную активность портов и судоходных компаний, оптимизировать их операционную деятельность, что является важным фактором повышения их инвестиционной привлекательности.

Крупнейшие транспортные компании современной России представляют собой интегрированные корпоративные структуры. Их развитие характеризуется двумя важнейшими тенденциями:

— транснационализацией, то есть стремлением расширять сферу своей деятельности в мировом масштабе, создавая дочерние компании, зависимые общества, филиалы и представительства за рубежом, преимущественно в нескольких странах. Политика международной экспансии таких структур отражается прежде всего через экспансию капитала в различных формах, которая приводит к значительной роли мирового финансового рынка в российской экономике, зависимости транспортного бизнеса и российской экономики в целом от мировых финансовых и экономических тенденций;

— интеграцией диверсифицированных направлений транспортного бизнеса, при которой диверсификация как форма концентрации производства и капитала на транспорте предусматривает обширный спектр действий — «продуктовую» диверсификацию (диверсификацию видов транспортной деятельности), диверсификацию клиентской базы и поставщиков, диверсификацию источников финансирования, диверсификацию вложения капиталов и т. д.

В целом, интегрированный транснациональный диверсифицированный бизнес на водном транспорте — важное направление изменения структуры управления бизнесом, способа концентрации капитала в современных условиях. Его развитие отражает стремление компаний устоять в условиях жесткой конкурентной борьбы и использовать наиболее широкий спектр факторов роста бизнеса, в том числе финансовых.

Интегрированный бизнес на водном транспорте характеризуется следующими наиболее общими особенностями управления:

1) между компаниями группы существуют устойчивые взаимосвязи, более жесткие, чем рыночные; это означает, что в некоторых существенных направлениях все объединение выступает как единое целое;

2) существует стратегический центр принятия решений, который может быть как юридическим лицом, так и группой физических лиц — собственников и высших менеджеров; этот центр является ключевым элементом объединения, определяющим стратегию развития группы.

Анализ парадигмы возникновения и функционирования интегрированных субъектов хозяйствования на водном транспорте позволяет определить их качественные особенности, обуславливающие их преимущества:

— реализация эффекта масштаба, ведущая к финансовой, операционной, информационной и управленческой синергии;

— возможность оказывать существенное влияние на эффективность рынков за счет концентрации и централизации всех форм капитала, включая информационный;

— возможность экономии трансакционных издержек на основе объединения и консолидации производств, их интеграции и диверсификации;

— возможность более масштабного использования преимуществ оптимизации налогового планирования;

— возможность эффективного управления финансовыми рисками;

— сочетание форм координации выбора (рынок — иерархия) при распределении ресурсов группы;

— более широкие возможности использования действующих и создание новых финансовых инструментов;

— наличие властного поля деятельности, обеспечивающего развитие различных форм экспансии транспортного бизнеса, особенно через финансовые рынки;

— интеграционный характер взаимосвязи между бизнес-единицами в рамках группы, обеспечивающий устойчивость системы объединений;

— спецификация управленческих функций, основанная на современных технологиях принятия решений, особенно решений, связанных с управлением стоимостью компании, которые в современном корпоративном управлении признаются генеральными и стратегическими.

На развитие интегрированного транспортного бизнеса оказали влияние следующие факторы:

1) нормативно-правовые аспекты функционирования подобных объединений;

2) макроэкономические факторы;

3) величина издержек, обусловленная объединением;

4) уровень конкуренции и адекватность риска при объединении;

5) распределение контроля.

К правовым аспектам относятся: ставки налогов, наличие налоговых преференций и особых налоговых режимов, требования и условия (фактические или возможные) антимонопольного законодательства, гарантия прав собственности. Реализация этой группы факторов привела к экспансии отечественных транспортных корпораций в офшорные зоны (преимущественно Кипр).

К макроэкономическим факторам относятся:

— механизмы государственной поддержки транспортного бизнеса, проявляющиеся в государственной транспортной политике;

— антиинфляционная политика государства и ее эффективность;

— государственная политика в области укрепления национальной валюты;

— национальный инвестиционный рейтинг и его тенденции;

— развитость и стабильность функционирования национальных и мировых финансовых рынков;

— система государственного регулирования;

— политические риски, имеющие широкий спектр действия.

Макроэкономические факторы также способствовали транснационализации интегрированных транспортных структур.

Фактор издержек предусматривает, что объединение компаний осуществляется с целью минимизации издержек, прежде всего за счет экономии на управлении, информации и возможности перенесения постоянных издержек на значительное количество компаний внутри интегрированной корпоративной структуры, а также экономии издержек при финансировании текущей деятельности и роста бизнеса. В общем случае интегрированный бизнес может располагать возможностями оказания транспортных услуг с меньшими издержками.

Фактор конкуренции свидетельствует о том, что для транспортного бизнеса интеграция — стратегический способ повышения конкурентоспособности за счет обладания дефицитными, уникальными, труднопроизводимыми ресурсами. Именно возможность и необходимость повышения конкурентоспособности, прежде всего на мировых рынках, стимулирует интеграцию.

Интеграция бизнеса связана с *фактором риска*. Чем выше уровень риска, тем значительнее стремление к интеграции. Прежде всего это касается политического риска, связанного с вероятностью политических и соответствующих экономических изменений, которые могут снизить защищенность активов бизнеса и получаемых доходов. С этой точки зрения объединение нескольких компаний сводит к минимуму риск потери активов, поскольку они разделены между юридическими лицами — ее участниками и странами. Более широкие возможности распределения рисков в современных транспортных интегрированных структурах — одно из их существенных преимуществ. Весьма важно также, что путем рационализации рассредоточения операций и активов внутри интегрированной структуры можно уменьшить деловой и финансовый риски.

Фактор контроля реализуется за счет централизации управления финансовой, инвестиционной и операционной деятельности. Он обеспечивает сохранение уровня согласованности действий различных юридических лиц в соответствии с общей стратегией бизнеса.

Интеграция транспортного бизнеса осуществлена на основе системы участия в капитале. Это обеспечивает следующие инвестиционно-финансовые преимущества группы:

1) определяет значимость внутреннего финансирования инвестиций, приоритетность которого обусловлена наличием в интегрированной структуре эффективного механизма их централизации;

2) повышает инвестиционные возможности группы за счет внешних источников финансирования инвестиций: высокий потенциал собственной внутренней ресурсной базы инвестиций определяет доступность и относительную дешевизну внешних источников финансирования инвестиций;

3) в целом повышает инвестиционные возможности группы за счет внутренних и внешних источников финансирования инвестиций и обеспечивает возможность оптимизации структуры источников финансирования инвестиций;

4) в значительной степени расширяет возможности реструктуризации компаний и интегрированной структуры в целом.

Таким образом, интеграция на основе системы участия — весьма гибкий инструмент контроля и управления инвестиционно-финансовым потенциалом группы.

К этому следует добавить, что транспортные интегрированные группы, как отмечалось выше, обладают высоким и специфическим потенциалом *налогового планирования* как инструмента оптимизации финансовой и инвестиционной деятельности. Международная экспансия позволяет использовать возможности снижения налоговой нагрузки за счет применения на широком экономическом пространстве (включая офшорные зоны) механизма налоговых льгот и инструмента налоговых преференций регионального и странового уровня. Немаловажное значение имеют существенные региональные различия в стоимости трудовых ресурсов, позволяющие рационально планировать зависящие от нее налоговые отчисления (страховые взносы), управляя территориальным размещением компаний холдинговой группы. Таким образом, финансовая конкурентоспособность интегрированных групп в транспортном бизнесе поддерживается также использованием специфических методов налогового планирования, возможности которых весьма существенны и определяются особым характером интеграции и территориального размещения бизнеса.

Обобщая результаты, отметим, что качественная субстанция интегрированных корпоративных структур на транспорте включает следующие признаки:

1) объединение юридических лиц на основе собственности (или договоров);

2) наличие общей стратегии управления развитием группы объединенных компаний;

3) сочетание рынка и иерархии (централизации) в системе управления группой объединенных транспортных компаний.

Интегрированные корпоративные структуры характеризуются более сложными и существенно отличными от моноструктур приоритетными факторами, методами и моделями финансового управления.

Международный характер экспансии капитала интегрированных транспортных структур определяет высокие пределы роста инвестиционно-финансовой активности; широкую финансовую и инвестиционную ресурсную базу; возможность использования налоговых преференций на широком экономическом пространстве.

Интеграция обеспечивает широкий спектр и интенсивность процессов и методов перераспределения финансово-инвестиционных ресурсов в рамках группы; высокий уровень стратегической централизации финансовых и инвестиционных ресурсов группы; эффективность налогового планирования; обеспечение защиты от финансовых трудностей; улучшение доступа к ресурсам финансовых рынков; улучшение финансовой структуры и уменьшение стоимости капитала корпорации; снижение изменчивости доходов (деловых рисков).

Система участия в капитале как экономическая основа объединения компаний обеспечивает практически неограниченный по масштабам, сферам и времени контроль собственников за финансово-инвестиционной деятельностью компаний группы; простоту перехода прав собственности без нарушения ее деятельности; при этом актуальна проблема конфликта интересов принципалов и агентов.

Авторы исследовали структуру и особенности функционирования крупнейших пароходств России: ОАО «Совкомфлот», ОАО «Дальневосточное морское пароходство», ОАО «Мурманское морское пароходство», ОАО «Волжское пароходство», ОАО «Приморское морское пароходство» (ОАО «ПМП») и ОАО «Северо-Западное пароходство».

Названные корпорации (как основные общества) имеют сложную интегрированную сеть дочерних компаний (в России и за рубежом), связанных системой прямого участия в уставном капитале, а также в ряде случаев реализуют косвенный контроль целого ряда структур. Таким образом, крупнейшие пароходства России формируют группы, обладающие сложной интегрированной структурой с диверсификацией направлений бизнеса в дочерних компаниях. В качестве примера представим структуру группы ОАО «Волжское пароходство» (рис. 1).



Рис. 1. Структура группы «Волжское пароходство»

Необходимо отметить, что в некоторых случаях диверсификация направлений бизнеса компаний водного транспорта может быть еще более значительной. Так, например, в группу «Приморское морское пароходство» (группа PRISCO) входят дочерние компании, основные направления деятельности которых не связаны с водным транспортом (ЗАО КБ «Приско Капитал Банк», ООО «Медицинский центр ПРИСКО», ООО «Гостиничный комплекс ПРИСКО РЕНТ»).

Таким образом, транспортные транснациональные компании отличает высокий уровень диверсификации направлений транспортного бизнеса, включающих широкий спектр грузовых и пассажирских перевозок, транспортную обработку грузов, портовое обеспечение, агентирование флота, технический и коммерческий менеджмент, наем экипажа, подготовку финансовой отчетности, покупку и продажу недвижимого имущества др. Некоторые корпорации включают дочерние компании, деятельность которых не связана с транспортом. В составе транспортных интегрированных групп необходимо отметить наличие дочерних компаний, которые ведут исключительно холдинговую деятельность, то есть созданы для владения акциями транспортных компаний, компаний-судовладельцев, агентских компаний и управления их деятельностью в интересах группы.

Следует, однако, отметить, что при всех позитивных аспектах деятельности и развития интегрированных транспортных корпораций (фактически международных), их высокая зависимость от мирового финансового рынка привела сегодня в условиях кризиса на Кипре к потерям капитала и высокой неопределенности (рискам) сохранения действующей модели бизнеса.

Для России деятельность транспортных корпораций подобного типа обеспечила сохранение и развитие транспортного флота и портов, повышение их конкурентоспособности на мировом экономическом пространстве. В то же время действовавшая до кипрского кризиса модель функционирования интегрированного транспортного бизнеса не оказывала сколько-нибудь положительного влияния на развитие финансового (и в том числе фондового) рынка России. Более того, она означала отток капитала как существенный ограничитель экономического роста страны.

Ситуация радикальным образом изменится при ограничении офшорного бизнеса и возвращении в Россию капиталов транснациональных интегрированных транспортных структур (при условии улучшения делового климата в стране). Это создаст импульс развития финансового рынка России за счет инвестиционно привлекательных интегрированных структур транспортного бизнеса.

Список литературы

1. Обзор финансового рынка. Годовой обзор за 2011 и 2012 гг. / Департамент исследований и информации ЦБ РФ — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.cbr.ru>
2. Сайт агентства «РБК» — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.rbc.ru>
3. Сайт информационного агентства «Рейтер» — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://ru.reuters.com>
4. Сайт группы «FESCO» — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.fesco.ru>
5. Сайт группы «Совкомфлот» — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.scf-group.com>
6. Сайт ОАО «Мурманское морское пароходство» — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.msco.ru>
7. Сайт группы «PRISCO» — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.prisco.ru>
8. Сайт ОАО «Судоходная компания «Волжское пароходство»» — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.volgaflot.com>
9. Сайт ОАО «Северо-Западное пароходство» — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.nwsc.spb.ru>

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА РОССИИ

MODERN STATE AND ACTUAL DEVELOPMENT PROBLEMS OF WATER TRANSPORT IN RUSSIA

Транспорт играет значимую роль в обеспечении роста национальной экономики. Вместе с тем современное состояние транспортного комплекса России ограничивает темпы социально-экономического развития страны. В данной статье представлены актуальные проблемы водного транспорта — ключевого звена национальной транспортной системы, которые требуют неотложного решения для целей обеспечения опережающего развития транспорта по сравнению с другими отраслями экономики; рассмотрено влияние транспортной составляющей на национальную экономическую систему.

Transport plays a significant role in ensuring the national economy growth. However, the current state of the Russian transport system limits the socio-economic development of the country. This article presents a complex of actual water transport branch problems – the main link of the national transport system, which require urgent solutions for ensuring its accelerated development compared to other economic sectors; considers the impact of the transport component on the national economic system.

Ключевые слова: транспорт, водный транспорт, национальная экономика, проблемы развития, рост, современное состояние.

Key words: development problems, transport, water transport, national economy, growth, modern state.

ТРАНСПОРТ является одной из ключевых базовых отраслей народного хозяйства, поскольку формирует основу национальной и мировой социально-экономических систем, определяя темпы и структуру их развития. Значимость его роли проявляется в многоплановости решаемых им задач для удовлетворения потребностей экономики и социальной сферы. Помимо обеспечения основной — дистрибутивной — функции, заключающейся в обслуживании процессов производства, сферы материального обращения и перемещения людей, транспорт стимулирует экономический рост, развитие различных отраслей промышленности и социальной сферы посредством мультипликативного эффекта инвестиций в транспортный комплекс, направляемых с целью качественного улучшения процесса оказания транспортных услуг, обновления объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств. В современных условиях замедления темпов социально-экономического развития¹ вследствие устойчивого доминирования экспортно-сырьевой модели национальной экономики и весомого оттока капитала за рубеж роль транспорта как ключевого драйвера роста экономики усиливается.

Корреляционный анализ данных, представленных на рис. 1, выявил наличие тесной связи между объемом произведенного валового внутреннего продукта (ВВП), темпы увеличения которого являются индикатором экономического роста, и величиной инвестиций в основной капитал на транспорте (коэффициент корреляции составил 0,8). Наблюдаемый на графике прирост инвестиций в основной капитал на транспорте в 2000–2011 гг. обусловил положительную динамику ВВП за рассматриваемый период. При этом динамика прироста объемов инвестиций в основной капитал (среднегодовой прирост составил 33,6 %) заметно опережает прирост валового внутреннего продукта России (23 %). Это свидетельствует о том, что на макроэкономическом уровне за-

¹ Со 104,8 % в 1-м квартале 2012 г. до 102,1 % в 4-м квартале 2012 г. и до 101,6 % в 1-м квартале 2013 г. [Источник: Росстат. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b13_02/Main.htm].

крепление и развитие позитивных тенденций, сложившихся в экономике России в последние годы, в решающей мере связаны с оживлением инвестиционных процессов на транспорте как факторов инфраструктурного обеспечения восстановления производства и перехода к устойчивому экономическому росту.

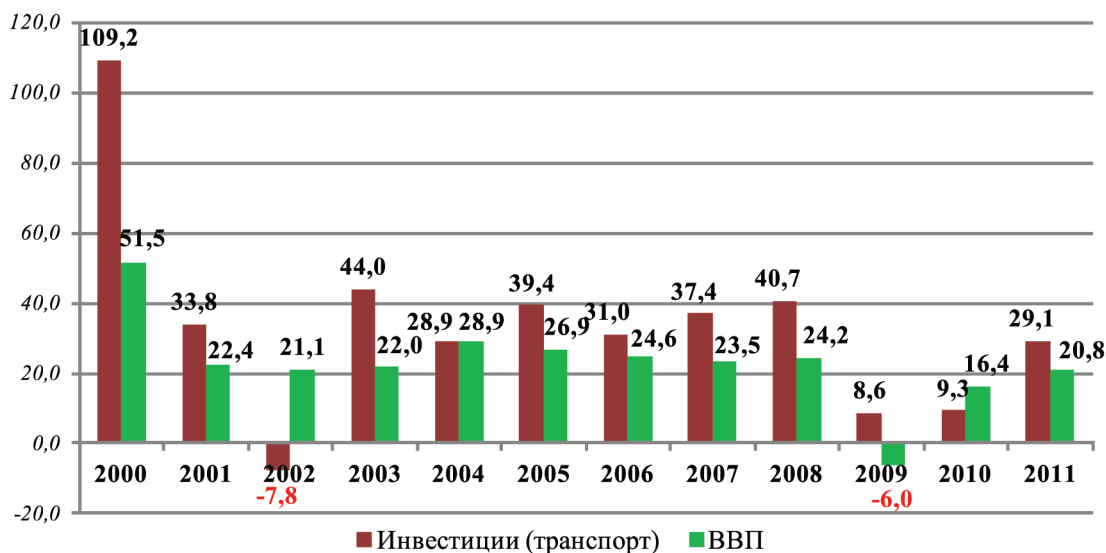


Рис. 1. Темпы прироста ВВП, инвестиций в основной капитал на транспорте в 2000–2011 гг., в % к предыдущему году¹

Транспорт обеспечивает территориальную целостность государства и единство экономического пространства благодаря разветвленной сети транспортных коммуникаций, которая связывает все регионы страны; служит материальной основой обеспечения внешнеэкономических связей России и ее интеграции в глобальную экономику; создает условия повышения конкурентоспособности российских товаров и услуг на мировом рынке и качества жизни населения страны; формирует спрос на высокотехнологичную продукцию различных сфер национальной экономики.

Транспорт Российской Федерации является системообразующей инфраструктурной отраслью национальной экономики, взаимодействующей со всеми элементами национальной и мировой социально-экономической систем. В настоящее время транспортный комплекс России представляют около 600 тыс. организаций. Удельный вес транспорта России в валовом внутреннем продукте страны составляет около 7 %. Доходы от экспорта транспортных услуг (без учета трубопроводного транспорта) в 2011 г. превысили 14 млрд долларов США, что образует треть доходов Российской Федерации от экспорта всех видов услуг. Среднегодовая численность занятых в транспортном комплексе, по данным Росстата, превысила 4 млн человек, что составляет примерно 6 % от общей численности занятых в экономике. Стоимость основных производственных фондов транспорта измеряется триллионами рублей и составляет около 20 % от стоимости основных фондов страны. На транспорт приходится более 20 % инвестиций в основной капитал, направляемых на развитие отраслей экономики России, и значительная доля потребления энергоресурсов, металла и других продуктов промышленного производства. По оценкам Министерства транспорта РФ, в бюджетную систему страны организациями транспортного комплекса перечислено налоговых платежей почти 515 млрд рублей, в том числе в федеральный бюджет 441 млрд рублей [1; 2, с. 3; 3, с. 68].

Протяженность путей сообщения транспортной системы России по состоянию на конец 2011 г. составляла 86 тыс. км железных дорог общего пользования, 1094 тыс. км автомобильных дорог (в том числе 841 тыс. км дорог с твердым покрытием), 101 тыс. км внутренних водных судоходных путей, 242 тыс. км магистральных трубопроводов. Что касается наличия подвижного со-

¹ Росстат. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b13_02/Main.htm

става, то на конец 2011 г. грузовые транспортные средства насчитывали 5969,2 тыс. единиц, в том числе: рабочий парк железнодорожных вагонов — 393 тыс. шт., грузовые автомобили — 5545 тыс. шт., морские и речные транспортные средства — 31,2 тыс. шт. Ежедневно по этим транспортным коммуникациям всеми видами транспорта перевозится более 20 млн т груза. [4, с. 101–102].

В грузообороте транспорта (без учета трубопроводного) удельный вес водного транспорта составляет около 5 % (рис. 2).



Рис. 2. Структура грузооборота по видам транспорта (без учета трубопроводного) в 2011 г.

Динамика структуры грузооборота, как показано на рис. 3, относительно стабильная и характеризуется незначительными изменениями за рассматриваемый период.

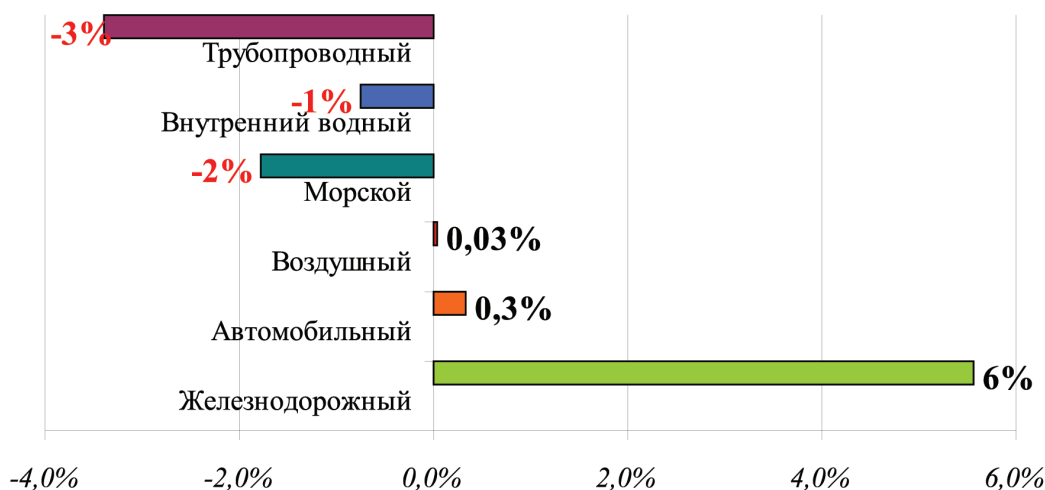


Рис. 3. Изменение структуры грузооборота транспорта в 2011 г. (прирост, снижение (-), в процентах к 2000 г.)

Доля морского транспорта за период с 2000 по 2011 г. уменьшилась как в суммарном объеме перевозок грузов — в пределах 0,04 процентных пунктов, с 0,45 до 0,41 %, так и в общем грузоо-

бороте — примерно на 2 процентных пункта, с 3,36 до 1,58 % (табл. 1). Доля внутреннего водного транспорта в рассматриваемом периоде незначительно увеличилась по показателю объема перевозок: с 1,48 до 1,51 %.

Таблица 1

Перевозки грузов различными видами транспорта в России¹

Вид транспорта	2000				2011			
	объем перевозок		грузооборот		объем перевозок		грузооборот	
	млн т	%	млрд т/км	%	млн т	%	млрд т/км	%
Железнодорожный	1047	13,24	1373	37,74	1382	16,57	2128	43,30
Автомобильный	5878	74,34	153	4,20	5663	67,93	223	4,53
Воздушный	1	0,01	3	0,07	1	0,01	5	0,10
Морской	35	0,45	122	3,36	34	0,41	78	1,58
Внутренний водный	117	1,48	71	1,95	126	1,51	59	1,20
Трубопроводный	829	10,48	1917	52,68	1131	13,56	2422	49,28
Итого:	7907	100,00	3638	100,00	8337	100,00	4915	100,00

Как видно из табл. 1, грузооборот транспорта России в 2011 г. увеличился на 1276 млрд т/км, или 35,1 %, по сравнению с аналогичным показателем 2000 г. в результате позитивных изменений в социально-экономическом положении страны. Вместе с тем, несмотря на достаточно существенное увеличение грузооборота транспорта и опережающий рост инвестиций, на протяжении длительного периода времени наблюдается отставание темпов прироста показателей операционной работы отечественного транспорта от динамики основных макроэкономических индикаторов российской экономики, что априорно является сдерживающим фактором ее развития (табл. 2). Так, если среднегодовые темпы прироста показателей «реальный ВВП», «объем промышленной продукции», «экспорт товаров» за период с 2000 по 2011 г. составили 5,3, 4,5 и 19,7 % соответственно, то аналогичный показатель «грузооборот транспорта» — только 3,1 %. Это привело к снижению удельного веса транспорта России в валовом внутреннем продукте страны в рассматриваемом периоде на 12 % [1].

Таблица 2

**Макроэкономические показатели (%) РФ за период 2000–2011 гг.
(темпы прироста к предыдущему периоду)²**

Показатели	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Реальный ВВП	10,0	5,1	4,7	7,3	7,2	6,4	8,2	8,5	5,2	–7,8	4,3	4,3
Объем промышленной продукции	8,7	2,9	3,1	8,9	8,0	5,1	6,3	6,8	0,6	–9,3	8,2	4,7
Экспорт товаров	39,0	–3,0	5,3	26,7	34,8	33,1	24,5	16,8	33,1	–35,7	32,1	30,3
Грузооборот транспорта	5,1	3,2	5,9	7,7	6,4	2,6	2,7	2,4	0,7	–10,1	6,9	3,4
Инвестиции в основной капитал	73,8	29,1	17,1	24,1	31,0	26,0	31,0	42,0	30,8	–9,2	14,7	17,8
в том числе на транспорте	109,2	33,8	–7,8	44,0	28,9	39,4	31,0	37,4	40,7	8,6	9,3	29,1

В условиях глобализации экономики и сопровождающих ее процессов развития внешнеторгового обмена роль транспорта, в том числе водного, усиливается: он становится мощным инструментом реализации национальных интересов России, повышения ее конкурентоспособности в мировой экономике. Выгодное географическое положение РФ и ее внешнеэкономическое окруже-

¹ Источник: Росстат. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat/rosstatsite/main/publishing/catalog/statisticCollections/doc_1270707126016

² Там же; <http://www.ereport.ru/stat.php?razdel=country&count=russia&table=grecia&time=1>

ние определяют приоритетную роль транспорта в развитии конкурентных преимуществ страны на мировом транспортном рынке с позиций реализации ее транзитного потенциала и позволяют получать значительные доходы от экспорта транспортных услуг. Российская территория является связующим звеном европейской и азиатской транспортных систем, кратчайшим путем доставки грузов из Китая, Южной, Северной Кореи, Японии в страны Европейского Союза. При этом объемы экспорта и импорта стран Евро-Азиатского региона постоянно растут. Так, например, объем экспорта Китая, одного из крупнейших его представителей, увеличился за 2000–2011 гг. примерно в 8 раз до 1,9 трлн долларов США (при среднегодовом темпе прироста данного показателя 22,0 %), а объем импорта вырос за тот же период примерно в 8,5 раз и составил около 1,7 трлн долларов США (при среднегодовом темпе прироста этого показателя 22,1 %) [5]. Экспорт транспортных услуг Российской Федерации, по данным Министерства транспорта РФ, достиг в 2011 г. более 14 млрд долларов США (без учета трубопроводного транспорта)¹. Вместе с тем отмечается уменьшение доли отечественных транспортных компаний на мировом рынке грузовых перевозок с 22,6 % в 2000 г. до 21,8 % в 2010 г. [4, с. 281].

Проведенные научные исследования и анализ современного состояния и проблем функционирования транспортной системы РФ, включая водный транспорт, позволили выделить следующие основные причины сложившейся неблагоприятной ситуации в транспортном комплексе страны.

Первоочередной проблемой транспорта, по нашему мнению, является наличие структурных диспропорций в развитии транспортной инфраструктуры. По-прежнему трубопроводный транспорт продолжает развиваться более быстрыми темпами по сравнению с другими видами транспорта, что закрепляет сложившуюся экспортно-сырьевую модель российской экономики: в 2011 г. было введено в действие 2,2 тыс. км магистральных трубопроводов, в то время как лишь 93,4 км новых железных дорог и всего 1,9 тыс. км автомобильных дорог с твердым покрытием общего пользования, несмотря на то что доля дорог с твердым покрытием в России относительно низка по сравнению с другими развитыми странами мира и составляет примерно 77 % [4, с. 30]. По протяженности магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов Россия занимает первое место в мире (по состоянию на начало 2011 г. этот показатель составлял 65,1 тыс. км). При этом доля России в мировой системе магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов в рассматриваемом периоде увеличилась на 5 процентных пунктов: с 51 % в 2000 г. до 56 % в 2011 г. [4, с. 278]. Удельный вес России в объеме мирового грузооборота магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов также увеличился в анализируемом периоде на 7 процентных пунктов и составил в 2011 г. 1121 млрд т/км, или 47 % от мирового грузооборота [4, с. 282].

Кроме того, проблема несбалансированного развития транспортной системы Российской Федерации проявляется в неравномерном территориальном развитии транспортной инфраструктуры. Наиболее существенна дифференциация между железно- и автодорожной сетями европейской части России и районов Сибири и Дальнего Востока. Так, например, эксплуатационная длина железнодорожных путей общего пользования по состоянию на конец 2011 г., приходящаяся на Центральный, Северо-Западный, Южный, Северо-Кавказский и Приволжский федеральные округа, составила 62 % от общей величины данного показателя, в то время как на Уральский, Сибирский и Дальневосточный федеральные округа приходится всего 38 % [4, с. 108–110]. Плотность железнодорожных путей общего пользования, измеряемая в километрах на 1000 км² территории, в Сибири (24 км) и на Дальнем Востоке (14 км) существенно ниже среднероссийского показателя (50 км) [4, с. 108–110]. Выявленные дисбалансы противоречат концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию [6].

Во-вторых, следует отметить очевидные недостаточные темпы и масштабы инвестиций на транспорте, как следствие, неудовлетворительное состояние транспортных средств и объектов

¹ <http://www.ppp-transport.ru/theme/detail.php?ID=1076>

транспортной инфраструктуры, что обуславливает недостаточную пропускную и провозную способность транспортной системы России. В настоящее время протяженность проблемных в отношении пропускной способности путей составляет 8,3 тыс. км, или около 30 % протяженности железных дорог, обеспечивающих примерно 80 % всей грузовой работы железнодорожного транспорта. До настоящего времени не завершено формирование опорной сети федеральных автомобильных дорог, связывающей все регионы России. Нормативным требованиям соответствует лишь около 38 % автомобильных дорог федерального значения. Имеется дефицит портовых мощностей, ориентированных на перевалку импортных грузов (контейнеры и накатные грузы), который вызван опережающим развитием в течение последних лет портовых мощностей, направленных на перевалку экспортных грузов. Доля внутренних водных путей, ограничивающих пропускную способность Единой глубоководной системы европейской части Российской Федерации, в настоящее время составляет 4,9 тыс. км (75 %). В стране отсутствует высокоскоростное железнодорожное сообщение [2].

Ежегодно на развитие транспортной системы России из бюджетов всех уровней направляются колоссальные финансовые ресурсы. Только за последние четыре года (с 2008 по 2011 г.) на эти цели было выделено 1,6 трлн рублей [1]. При этом следует отметить двукратное увеличение расходов консолидированного бюджета РФ на развитие транспорта за 7 лет, с 250,5 млрд руб. в 2005 г. до 499,1 млрд руб. в 2011 г. Общие инвестиции в транспорт за этот же период увеличились в 4 раза: с 596,1 млрд руб. в 2005 г. до 2038,9 млрд руб. 2011 г. Среднегодовой темп роста инвестиций в основной капитал на транспорте (33,6 %) с 2000 по 2011 г. превысил аналогичный показатель по экономике России на 6,2 процентных пункта [1] (рис. 4).

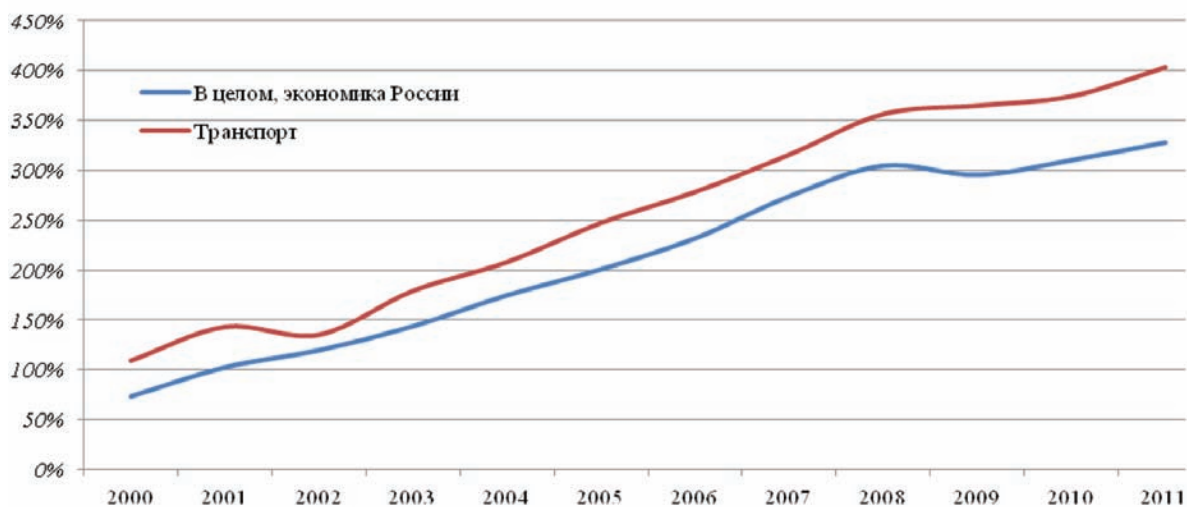


Рис. 4. Динамика темпов роста инвестиций в основной капитал на транспорте в сравнении с экономикой России за период с 2000 по 2011 г. (в % к предыдущему периоду, нарастающим итогом)

Как видно из рис. 5, структура инвестиций в 2011 г. по сравнению с 2005 г. изменилась незначительно: по-прежнему основным объектом инвестиционных вложений является трубопроводный вид транспорта, что обусловлено доминирующим влиянием экспортно-сырьевой модели российской экономики, его доля увеличилась с 57 % в 2005 г. до 68 % в 2011 г. Удельный вес железнодорожного транспорта в общей структуре инвестиций, несмотря на почти трехкратное увеличение инвестиций в абсолютном выражении за рассматриваемый период снизился на 8 процентных пунктов и составил в 2011 г. 28 %. Кумулятивная доля автомобильного, внутреннего водного, морского и воздушного видов транспорта также уменьшилась и составила в 2011 г. 4 % против 7 % в 2005 г.

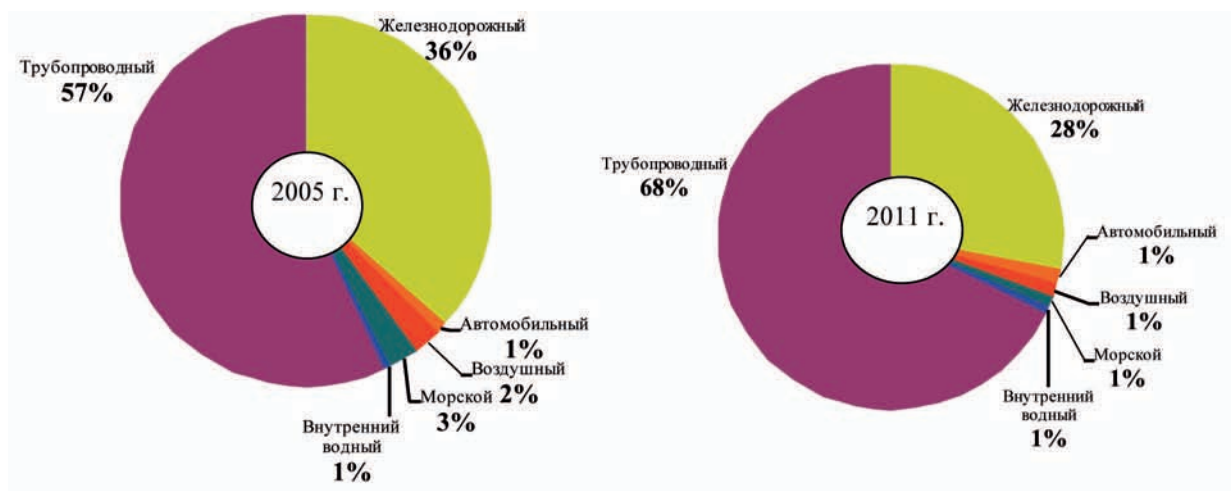


Рис. 5. Структура инвестиций в основной капитал на транспорте в 2005 и 2011 гг.

Вместе с тем следует констатировать недостаточные темпы ввода в эксплуатацию объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств. Так, например, протяженность транспортных коммуникаций за 2000–2011 гг., по данным Росстата, в среднем росла на 3 % в год [1] (табл. 3).

Таблица 3

**Динамика протяженности транспортных коммуникаций России (тыс. км)
за 2000–2011 гг. (на конец года)**

Пути сообщения	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Эксплуатационная длина ж/д путей общего пользования	86,1	85,8	85,5	85,4	85,3	85,2	85,2	85,2	85,6	85,6	85,7	85,5
Протяженность автомобильных дорог общего пользования	584,4	588,7	592,6	598,6	600,6	581	701,1	747,5	754,1	792,7	825	927,3
Протяженность газопроводов	151,7	152,1	152,7	156,1	157,6	159,9	161,9	163,5	164,8	166,2	167,9	171,3
Протяженность нефтепроводов	48,4	48,1	50,1	49,7	49,9	49,8	49,6	49,5	49,2	48,9	49,2	51
Протяженность нефтепродуктопроводов	14,9	15	15,2	15,2	15,6	15,6	15,6	15,8	16	15,9	15,9	19,5
Протяженность внутренних водных судоходных путей	84,6	101,8	101,7	101,7	101,7	101,7	101,6	101,6	101,6	101,5	101,4	101,3
Всего:	970,1	991,5	997,8	1006,7	1010,7	993,2	1115	1163,1	1171,3	1210,8	1245,1	1355,9
Темп прироста (в % по отношению к предыдущему периоду)	—	2 %	1 %	1 %	0 %	–2%	12 %	4 %	1 %	3 %	3 %	9 %

На фоне увеличения капиталовложений низкие темпы ввода в эксплуатацию объектов транспортного комплекса, помимо влияния объективного фактора — длительных сроков строи-

тельства, свидетельствуют о высокой стоимости строительных работ по сравнению с аналогами зарубежных стран. Так, например, по оценкам экспертов, строительство современной автомагистрали в России в среднем стоит 600–800 млн руб. за 1 км, что в 2–3 раза дороже, чем в Европе¹.

Кроме того, величина физического износа основных фондов транспортных компаний [1], несмотря на перманентный ввод в эксплуатацию производственных мощностей, продолжает увеличиваться (табл. 4), что снижает в первую очередь такие качественные показатели грузоперевозок, как уровень транспортной и экологической безопасности. Как видно из табл. 4, в 2011 г. этот показатель составил 34,7 % против 22,9 % в 2005 г. По отдельным видам транспорта износ основных производственных фондов превысил 50 %. Следует отметить, что значительная часть транспортных средств эксплуатируется за пределами нормативного срока службы.

Таблица 4

**Основные фонды и степень износа основных фондов компаний транспорта
(на конец года)**

Виды транспорта	Основные фонды (по полной учетной стоимости), млрд руб.			Степень износа основных фондов, %		
	2005	2010	2011	2005	2010	2011
Железнодорожный	1936,4	3322,7	3712,2	14,4	28,9	30,4
Автомобильный	31,4	65,9	88,4	50,1	45,9	42,1
Трубопроводный	670	2523,5	3113,2	41,9	48	50,1
Морской	30,3	62,2	59,1	55	32,1	34,7
Внутренний водный	30,5	40,7	57,6	60,9	60,9	50,7
Воздушный	81,7	147,2	176,8	50,9	47,7	45
Всего:	2780,3	6162,2	7207,3	22,9	32,9	34,7

Это позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время на транспорте в значительной степени реализуется модель развития, при которой объемы услуг компаний растут, как правило, благодаря увеличению использования существующих основных фондов.

Проблема привлечения инвестиций в развитие транспортной системы России обусловлена, помимо неразвитости механизмов государственно-частного партнерства, низкой рентабельностью самих транспортных компаний, недостаточной для аккумулирования необходимых собственных и заемных инвестиционных ресурсов в развитие транспортного бизнеса: подвижной состав, технологии, персонал. При этом наблюдается и постоянно усиливается дисбаланс между доходами транспортных компаний и перманентно растущей быстрыми темпами стоимостью товаров и услуг поставщиков, подрядчиков. В структуре себестоимости услуг российских транспортных компаний наибольший удельный вес составляют амортизация, расходы на ремонт подвижного состава и топливо. В результате рентабельность деятельности российских транспортных компаний в последние годы резко сократилась, до среднего уровня около 5–10 %², что существенно ограничило их финансовые возможности (как собственные, так и по привлечению долгосрочных заемных средств) реализации инвестиционных проектов по приобретению транспортных средств. Доля убыточных транспортных компаний в 2011 г. увеличилась по сравнению с 2010 г. на 1,1 процентных пункта и составила 37 %³. Сложившаяся ситуация усугубляется замедлением оборачиваемости дебиторской задолженности клиентов транспортных компаний⁴. Кроме того, деятельность организаций транспортного сектора российской экономики сопряжена с высоким уровнем операционного и финансового рычага, крупномасштабными инвестициями, длительным периодом

¹ http://www.grandsmeta.ru/n10-2010int/pages/id_2117

² Здесь: рентабельность продаж — отношение чистой прибыли к доходу.

³ <http://www.eg-online.ru/article/161378/>

⁴ Согласно информации участников Некоммерческого партнерства операторов железнодорожного подвижного состава.

их окупаемости, неравномерностью денежного потока в течение финансового года. В результате действия вышеперечисленных факторов сложилась низкая инвестиционная привлекательность компаний транспортной отрасли.

Сложившаяся неудовлетворительная ситуация в транспортном комплексе усугубляется техническим и технологическим отставанием транспортной системы России по сравнению с развитыми странами. Очевидно, технологическое отставание будет постепенно сокращаться, во многом благодаря реализации запланированных мероприятий в Транспортной стратегии РФ на период до 2030 г., а также развитию сотрудничества между крупнейшими транспортными компаниями России и машиностроительными заводами в области создания разработок и производства новых типов транспортных средств с улучшенными техническими характеристиками и организации взаимодействия российских производителей с иностранными компаниями в сфере производства продукции, не имеющей аналогов в мире. В целом в последнее время наблюдается конвергенция направлений технологического прогресса российского и западного машиностроения. Вместе с тем в настоящее время фактор высокого морального и физического износа подвижного состава и объектов транспортной инфраструктуры России усиливает негативное влияние транспорта на экологию. С учетом действующих в развитых странах ограничений по загрязнению окружающей среды это может ограничить выход российских транспортных компаний на европейский рынок и поставить под угрозу планы России по реализации своего транспортно-транзитного потенциала посредством объединения транспортных систем Европы и Азии.

Следует отметить также, что для российской транспортной системы характерно относительно низкое качество транспортно-экспедиционного обслуживания грузоперевозок по критериям скорости, экологичности, безопасности, своевременности доставки и сохранности грузов. Россия по качественным показателям работы транспорта значительно уступает международным конкурентам. Так, скорость доставки груза до конечного потребителя в России значительно ниже (примерно в 3,5 раза), чем в развитых странах. По оценкам экспертов, простой подвижного состава в России на всем протяжении операционного цикла (в пути следования, на пограничных переходах, в ремонтах, под погрузо-разгрузочными операциями) существенно превышает аналогичный показатель западных стран вследствие недостаточной координации перевозочного процесса, отсутствия единой национальной информационной системы управления грузовыми перевозками, интегрированной в мировую информационную транспортно-логистическую систему. Невысокая скорость транспортного сообщения в свою очередь обуславливает необходимость пополнения инвестиционных ресурсов отечественных компаний за счет дополнительного привлечения капитала, что приводит к снижению эффективности (рентабельности) его использования и лишает компанию-грузоотправителя альтернативной возможности инвестировать эти ресурсы, предполагая более эффективное их использование. Скорость и своевременность транспортного обслуживания в грузовом сообщении также имеет большое экономическое значение — она определяет величину страховых запасов сырья, готовой продукции на складах грузополучателей, необходимых для обеспечения непрерывного производства, объем оборотных средств и затраты на хранение грузов, тем самым влияя на себестоимость конечной продукции и ее конкурентоспособность. Кроме того, недостаточный уровень безопасности и экологичности российской транспортной системы ограничивает возможности интеграции России в мировую транспортную систему по причине ужесточения государствами и международными организациями требований к транспортным средствам по этим параметрам ввиду усиления негативного воздействия транспорта на окружающую среду по мере его развития.

Среди других немаловажных проблем, присущих транспортным компаниям, следует также отметить дефицит высококвалифицированных отраслевых кадров, несовершенство нормативно-правового обеспечения развития транспортной системы и рынка транспортных услуг вследствие недостаточной разработанности нормативно-правовой базы, регулирующей вопросы качества транспортных услуг, обеспечения мобилизационной подготовки транспортных компаний и выполнения ими военно-транспортной обязанности, развития механизмов государственно-частного

партнерства, обеспечивающих четкое законодательное распределение прав, ответственности и рисков между государством и инвестором, а также определения приоритетных сфер применения этих механизмов на транспорте.

Как результат названных проблем, транспортная составляющая в цене перевозимого груза достаточно высока: доля транспортных затрат в себестоимости отечественной продукции в среднем составляет 15–20 % (а по некоторым грузам достигает 45–50 % и более [3, с. 68]), в то время в странах с развитой рыночной экономикой этот показатель равняется 7–8 %¹. Вместе с тем роль фактора транспортной составляющей в цене отечественной продукции велика. Как показано на рис. 6, высокие транспортные расходы снижают конкурентоспособность российских товаров на внутреннем и мировом рынках, покупательскую способность населения страны, ослабляют деловые и социальные связи между регионами Российской Федерации, замедляют темпы экономического роста.



Рис. 6. Влияние транспортной составляющей на национальную экономическую систему

Таким образом, транспорт, в том числе водный, становится главным ограничителем темпов социально-экономического развития России.

Анализ современного состояния и проблем развития транспортной системы России указывает на то, что они имеют системный характер и требуют комплексного подхода к их решению. Несмотря на это, выгодное геополитическое положение позволяет РФ претендовать на одно из ведущих мест в транспортной инфраструктуре мира, играть важную роль в мировой экономической системе и на международной политической арене в качестве транспортного моста между Европой, Азией и Америкой (по направлениям запад–восток, север–юг). Транспорт, в том числе

¹ http://www.tranzit-group.ru/data/pages/11/0/rp_2nov.pdf

водный, может и должен стать точкой роста российской экономики, как с позиций обеспечения ускоренного и качественного передвижения товаров, так и с позиций заказчика для других отраслей экономики (прежде всего за счет снижения уровня транспортных издержек в конечной стоимости продукции). При этом он должен не только обеспечить растущий спрос на транспортные услуги, но и стать одним из катализаторов экономического роста и конкурентоспособности российской экономики в условиях глобализации, важным фактором повышения уровня жизни и развития регионов, инструментом активного геостратегического позиционирования России. Это требует новых подходов к развитию отечественного транспорта, в первую очередь повышения эффективности стратегического управления транспортными компаниями.

Список литературы

1. Официальный сайт Росстата — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.gks.ru>
2. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: утв. Распоряжением Правительства Рос. Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р.
3. Экономика железнодорожного транспорта: учеб. для студ. вузов ж/д транспорта / Н. П. Терешина, В. Г. Галабурда, М. Ф. Трихунков [и др.]; под ред. Н. П. Терешиной, Б. М. Лapidуса, М. Ф. Трихункова. — М.: УМЦ ЖДТ, 2011. — 674 с.
4. Транспорт и связь в России. 2012: стат. сб. / Росстат. — М., 2012. — Т. 65 — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: http://www.gks.ru/bgd/regl/B12_5563/Main.htm
5. Мировая экономика — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.ereport.ru/stat.php?razdel=country&count=china&table=imecia&time=1>
6. Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию: утв. Указом Президента Рос. Федерации от 1 апреля 1996 г. № 440.
7. Барбарич С. С. Грузовые и пассажирские вагоны нового поколения / С. С. Барбарич, А. М. Краснобаев, В. В. Новоселов // Железнодорожный транспорт. — 2008. — № 4.

УДК 658:629.12

С. С. Марченко,

ассистент,

ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СУХОГРУЗНЫХ СУДОВ СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ ЗА СЧЕТ МОДЕРНИЗАЦИИ ФЛОТА

POSSIBILITIES OF INCREASE OF COMPETITIVENESS OF DRY-CARGO MIXED RIVER–SEA NAVIGATION VESSELS AT THE EXPENCE FLEET MODERNIZATION

В статье рассматривается роль и значимость модернизации судов смешанного река–море плавания в повышении конкурентоспособности судоходных компаний. Указанная проблема необходимости модернизации флота водного транспорта признается и на государственном уровне.

Предложена методика комплексной оценки конкурентоспособности судов смешанного река–море плавания. Установлена взаимосвязь конкурентоспособности судов с экономическим результатом их деятельности.

In the article the role and the importance of modernization of mixed river–sea navigation vessels in increase of shipping companies's competitiveness is considered. The specified problem of need for modernization of water transport vessels is recognized at the state level.

The method of complex assessment of competitiveness of river–sea navigation vessels is suggested. The interrelation of competitiveness of vessels with economic result of their activity is established.

Ключевые слова: суда смешанного река–море плавания, конкурентоспособность, модернизация.

Key words: mixed river–sea navigation vessels, competitiveness, modernization.

Введение

Глобализация мировой экономики привела к усилению конкуренции и на рынке транспортных услуг. В результате развития торговли будет возрастать спрос и на услуги водного транспорта. Уже в период с 2002 по 2012 г. рост объемов перевозок водным транспортом составил 4,5 %. В Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года прогнозируемый темп роста перевозок грузов водным транспортом составляет 156 %. По данным Морского инженерного бюро, российские сухогрузные суда перевозят около 113 млн т сухих грузов ежегодно, и ожидается, что объемы перевозок сухогрузов возрастут до 178 млн т к 2025 г.

Не вызывает сомнения наличие устойчивой грузовой базы для роста бесперевалочных перевозок в сообщении река–море в ближайшей и более отдаленной перспективе. Главным образом это развитие транспортно-экономических связей Поволжья с районами, тяготеющими к Каспийскому и Балтийскому морским бассейнам; Волжско-Камского и Волго-Донского речных бассейнов р. Лены, Енисея и Оби; среднего и нижнего Приамурья с районами на побережье Охотского и Японского морей. В последние годы возросли экономические и торговые связи России со многими зарубежными странами Европы и Азии, что явилось важной предпосылкой перевозок в смешанном река–море сообщении. Суда смешанного река–море плавания осуществляют перевозки в более чем 30 стран Западной Европы, Северной Африки, Юго-Восточной Азии и посещают свыше 300 зарубежных портов [1].

В настоящее время средний возраст судов смешанного река–море плавания превысил 25 лет. Физический и моральный износ судов отрицательно сказывается на их конкурентоспособности, что, в свою очередь, оказывает негативное влияние на конкурентоспособность отечественных судоводных компаний.

Многие суда функционально (морально) устаревают задолго до наступления предельного физического износа их корпусов и механизмов и, как следствие, становятся неконкурентоспособными. В настоящее время во многих случаях моральный износ судов вызывается возросшими требованиями к охране окружающей среды, необходимостью улучшения условий труда и быта экипажей, снижения эксплуатационных и рейсовых расходов. Неизбежность модернизационных мероприятий на транспортном флоте может быть вызвана изменяющимися условиями эксплуатации, конъюнктурой перевозок и многими другими факторами, предъявляющими повышенные требования к технико-эксплуатационным качествам судов. Одним из возможных направлений устранения отрицательных последствий морального износа при минимальных капиталовложениях является модернизация [2].

Направление модернизации судов зародилось на стыке судостроения и судоремонта и получило самостоятельное развитие. Зарождению и развитию методов модернизации судов способствовал опыт, приобретенный при восстановлении аварийных кораблей и судов. Так, в 1917 г. в одном из английских доков была произведена операция по соединению носовой и кормовой части

двух переломившихся при подрыве на минах однотипных эсминцев «Нубиан» и «Зулу», в результате которой был сформирован корабль, получивший название «Зубиан». В 1933 г. был восстановлен пароход «Харьков» водоизмещением 16 300 т. Судно переломилось в результате посадки на мель и было восстановлено путем соединения обеих частей в сухом доке в Севастополе. Подобные работы многократно проводились в период Второй мировой войны [3].

«В основе модернизации чаще всего лежат требования классификационных обществ, постоянно изменяющиеся в связи с накоплением опыта эксплуатации судов и научно-техническим прогрессом; необходимость повышения надежности и технико-экономических показателей эксплуатации судов. В первую очередь модернизации подвергаются суда, у которых при относительно небольших затратах могут быть существенно улучшены технико-экономические характеристики» [3, с. 10].

Согласно официально принятого содержания этого понятия, сформулированного профессором А. Н. Лазаревым, под модернизацией понимается совокупность операций по изменению конструкции судна (элемента судна) с целью повышения технико-эксплуатационных характеристик, условий труда и быта, а также выполнения требований международных конвенций [4; 5].

Модернизация достаточно часто сопровождается процедурой реновации, заключающейся в обновлении корпуса судна, механизмов, электрического оборудования, позволяющей продлить срок эксплуатации судна на некоторый срок. Судно, имеющее документ Регистра об обновлении и модернизации, имеет ряд преимуществ по уровню конкурентоспособности по сравнению с другими судами того же возраста и назначения. К ним можно отнести:

- повышение безопасности плавания и снижение риска потери судна со всеми вытекающими последствиями;
- пересмотр периодичности классификационных освидетельствований;
- восстановление прав на отсрочку сроков периодических освидетельствований [6, с. 2].

Кроме того, проведение процедур модернизации и реновации позволяет судовладельцу эксплуатировать судно в портах, где есть ограничения по возрасту судов.

Можно отметить возрастание интереса судоходных компаний к вопросам модернизации судов. Так, например, в феврале 2010 г. вышел в первый рейс после модернизации сухогруз типа «Волго-Дон» пр. 1565 «Блэквуд» (порт приписки Таганрог, Россия), модернизация которого выполнялась на верфи Hidrodinamik (Тузла, Турция). В 2010–2011 гг. ОАО «Северо-Западное пароходство» модернизировало свои четыре судна «Волжский» пр. 05074. В результате проведенной модернизации суда, ранее имевшие класс Российского речного регистра, получили класс Российского морского регистра судоходства.

В основу проекта модернизации судов была положена идея применения непрерывных продольных комингсов люков, которые позволяют увеличить стандарт общей прочности корпуса судна, регистровую вместимость и грузоподъемность судна. Результатом модернизации судна явилось увеличение дедвейта с 4350 до 6013 т (то есть на 1663 т, или на 37 %) [7].

Значимость повышения конкурентоспособности речного флота путем его модернизации признается и на государственном уровне. Так, одной из наиболее важных задач развития транспортной системы на внутреннем водном транспорте, которые поставлены в Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года, является «проведение реновации судов, ремонта и модернизации флота» [8, с. 67].

В Стратегии развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года разработана программа модернизации судов внутреннего и смешанного река–море плавания по снижению их негативного воздействия на окружающую среду, которая включает в себя разработку и реализацию мер стимулирования модернизации судов с установкой современных двигателей и систем управления расходом топлива [9, с. 42].

Постановка задачи. Многофакторность и многогранность оценки конкурентоспособности судов смешанного плавания приводит к необходимости разработки одного синтезирующего показателя, в котором обобщались бы количественные и качественные частные показатели.

Математическая модель. Можно предложить следующую математическую аналогию: каждое судно есть точка в n -мерном пространстве; координаты точки — величины частных показателей конкурентоспособности судна, по которым осуществляется сравнение.

Тогда расстояние точки, обозначающей показатель конкурентоспособности судна, от точки-эталона, координаты которой представляют наилучшие результаты, имеющиеся у сравниваемых судов, будет характеризовать положение данного судна относительно судна-эталона. Величины сравниваемых показателей конкурентоспособности следует выражать в долях соответствующих показателей конкурентоспособности судна-эталона, которые принимаются за единицу измерения.

В табл. 1 приведены исходные данные для анализа конкурентоспособности судов. Перед расчетом интегрального показателя матрица исходных данных преобразуется следующим образом. В каждом столбце матрицы X_{ij} отыскивается максимальное значение i -го аргумента и на него делятся все показатели данного столбца, если с экономической точки зрения лучшей является максимальная величина показателей данного столбца. Если же с экономической точки зрения лучшей является минимальная величина показателей данного столбца, то отыскивается минимальное значение i -го аргумента и его делят на все показатели данного столбца.

В результате получается матрица координат X'_{ij} . Для каждого судна рассчитывается расстояние до точки-эталона по выражению

$$R_j = \sqrt{(1 - X'_{1j})^2 + (1 - X'_{2j})^2 \dots (1 - X'_{nj})^2}, \quad (1)$$

где R_j — расстояние от точки, обозначающей j -е судно, до точки-эталона;

X'_{1j}, X'_{nj} — показатели конкурентоспособности j -го судна, выраженные в долях показателей конкурентоспособности судов, взятых за эталоны (координаты j -го судна в n -мерном пространстве).

Для учета значимости того или иного показателя конкурентоспособности ему придают соответствующий весовой коэффициент, тогда формула (1) принимает вид

$$R_j = \sqrt{a_1(1 - X'_{1j})^2 + a_2(1 - X'_{2j})^2 \dots a_n(1 - X'_{nj})^2}, \quad (2)$$

где a_i ($i = 1, 2, \dots, n$) — весовые коэффициенты показателей конкурентоспособности.

Полученные по формулам (1) и (2) значения R_j (табл. 2) располагаются в порядке возрастания, что позволяет проранжировать суда по их конкурентоспособности; при этом судно со значением $R_j - \min$ имеет наивысший уровень конкурентоспособности, а судно со значением $R_j - \max$ в рассматриваемом ряду занимает последнее место.

Вычисление интегральных показателей оценки конкурентоспособности судов смешанного плавания также может быть выполнено в сравнении с судами судоходных компаний-конкурентов. При этом отдельные показатели конкурентоспособности судов должны быть уточнены и дополнены исходя из имеющейся соответствующей информации о перспективных судах компаний-конкурентов.

Таблица 1

Исходные данные для расчета интегральных показателей плавания ОАО «СЗП» (матрица X_{ij})
 сухогрузных судов смешанного река–море

№ судна (i)	Показатели (i)								
	Кол-во судов	Класс Регистра, балл	Скорость судна в грузу, уз.	Средний возраст судов, лет	Численность экипажа, чел.	Удельный расход топлива, г/(кВт·ч)	Удельная стоимость судна на 1 т дедвейта, долл.	Удельный среднегодовой ТЧЭ на 1 т дедвейта, долл.	Удельные среднегодовые расходы на ремонт на 1 т дедвейта, долл.
1	3	4	X_{2j} 6	X_{3j} 7	X_{4j} 8	X_{5j} 9	X_{6j} 10	X_{7j} 11	X_{8j} 12
1	10	70	11,2	25	13	207	1420	0,52	22,7
2	20	55	10	27	20	224	699	0,35	13,9
3	4	50	10,2	33	13	200	1143	0,41	34,1
4	13	55	10	23	13	211	1074	0,58	34,7
5	4	55	10,2	22	12	266	1006	0,65	15,8
6	6	90	10	25	20	202	1016	0,66	33,1
7	21	85	10	28	20	211	1111	0,63	36,2
8	2	100	11,5	2	10	295	1980	0,84	5,3
9	4	90	10,8	15	10	243	815	0,77	10,2
10	5	75	10,2	15	11	201	986	0,74	10,5
11	11	100	11	8	10	252	1463	0,82	8,2

Таблица 2

Матрица конечных результатов

№ судна (j)	Название и номер проекта судна	$\alpha_1(1 - X'_{1j})^2$	$\alpha_2(1 - X'_{2j})^2$	$\alpha_3(1 - X'_{3j})^2$	$\alpha_4(1 - X'_{4j})^2$	$\alpha_5(1 - X'_{5j})^2$	$\alpha_6(1 - X'_{6j})^2$	$\alpha_7(1 - X'_{7j})^2$	$\alpha_8(1 - X'_{8j})^2$	R_j	Место в группе
1	2	3	4	5	6	7	8	9		11	12
1	«СТК» пр. 326,1	0,0153	0,0001	0,1185	0,0048	0,0002	0,0361	0,0174	0,0470	0,489	8
2	«Волго-Дон» пр. 1565	0,0344	0,0019	0,1200	0,0225	0,0017	0	0,0408	0,0306	0,502	10
3	«Сибирский» пр. 225	0,0425	0,0014	0,1235	0,0048	0	0,0211	0,0314	0,0571	0,531	11
4	«Омский» пр. 1743,1	0,0344	0,0019	0,1167	0,0048	0,0004	0,0171	0,0115	0,0574	0,494	9
5	«Волжский» пр. 05074	0,0344	0,0014	0,1157	0,0025	0,0092	0,0130	0,0143	0,0353	0,475	6
6	«Амур» пр. 92040	0,0017	0,0019	0,1185	0,0225	0,0000	0,0136	0,0055	0,0564	0,469	5
7	«Волго-Балт» пр. 2-95A	0,0038	0,0019	0,1207	0,0225	0,0004	0,0193	0,0075	0,0583	0,484	7
8	«Нева-Лидер» пр. RSD49	0	0	0	0	0,0156	0,0586	0	0	0,272	1
9	«Волжский» пр. 05074 (после модернизации)	0,0017	0,0004	0,1052	0	0,0047	0,0028	0,0008	0,0185	0,366	2
10	«Омский» пр. 1743,1 (после модернизации)	0,0148	0,0014	0,1052	0,0007	0	0,0119	0,0017	0,0196	0,384	4
11	«Русич» пр. 00101	0	0,0002	0,0798	0	0,0064	0,0382	0,0001	0,0100	0,368	3
Коэффициент значимости (весомости) α_i		0,17	0,11	0,14	0,09	0,15	0,14	0,12	0,08	—	—

Из табл. 2 видно, что наиболее конкурентоспособными судами смешанного река–море плавания являются сухогрузные суда «Нева-Лидер» пр. RSD49. Это востребованные и эффективные теплоходы, которые должны закрыть часть грузовой базы, перевозимой в настоящее время судами СЗП. Также высокий уровень конкурентоспособности у модернизированных судов «Волжский» пр. 05074 и судов «Омский» пр. 1743,1, которые значительно превосходят по уровню конкурентоспособности старые эксплуатируемые суда компании.

Так, например, показатели конкурентоспособности судов типа «Волжский» и «Омский» после модернизации изменились следующим образом:

- 1) X_{i2} — скорость судна в грузу увеличилась на 5,9 %;
- 2) X_{i3} — документальный возраст судна уменьшился на 31,8 %;
- 3) X_{i4} — численность экипажа уменьшилась на 15,3 %;
- 4) X_{i5} — расход топлива уменьшился на 8,6 %;
- 5) X_{i6} — удельная стоимость судна на 1 т дедвейта уменьшилась на 18,9 %;
- 6) X_{i8} — удельные среднегодовые расходы на ремонт на 1 т дедвейта уменьшились на 35,4 %.

Следует отметить, что среди всех анализируемых судов наименее конкурентоспособными являются суда «Сибирский» пр. 225, «Волго-Дон» пр. 1565, «СТК» пр. 326,1, «Волго-Балт» пр. 2-95А. По результатам расчетов можно сделать вывод, что судоходным компаниям, имеющим в составе флота суда вышеперечисленных проектов, рекомендуется рассмотреть целесообразность их модернизации.

Далее была проведена экономическая оценка полученных результатов уровней конкурентоспособности рассматриваемых сухогрузных судов смешанного плавания через изменение удельного чистого дохода на 1 т дедвейта.

Построена следующая экономическая модель зависимости уровня конкурентоспособности сухогрузного судна смешанного плавания от экономического результата его эксплуатационной деятельности (удельный чистый доход на 1 т дедвейта):

$$y = 94,56 - 121,6R_j, \quad (3)$$

где y — удельный чистый доход на 1 т дедвейта, долл.; R_j — интегральный показатель уровня конкурентоспособности судна.

Так как коэффициент корреляции составляет 0,77, то по шкале Чеддока это означает сильную связь между рассматриваемыми показателями. Для оценки значимости коэффициента корреляции использовался t -критерий Стьюдента: $t_{\text{расч}} = 3,38$; $t_{\text{табл}} = 2,201$. Так как $t_{\text{расч}} > t_{\text{табл}}$, то можно утверждать о значимости полученного коэффициента корреляции и существенности связи между удельным среднегодовым чистым доходом и интегральным показателем уровня конкурентоспособности сухогрузного судна смешанного плавания.

Экономическая интерпретация построенной модели состоит в том, что при уменьшении (увеличении) интегрального показателя уровня конкурентоспособности судна на 0,1 удельный чистый доход на 1 т дедвейта увеличится (уменьшится) на 12,16 долларов.

Выводы

1. Модернизация является основным направлением повышения конкурентоспособности эксплуатируемых сухогрузных судов смешанного река–море плавания.
2. Разработаны методические положения комплексной оценки конкурентоспособности сухогрузных судов смешанного плавания до и после модернизации.
3. Построена регрессионная модель зависимости влияния уровня конкурентоспособности судов смешанного плавания на экономический результат их эксплуатации (удельный чистый доход на 1 т дедвейта).

Список литературы

1. Булов А. А. Развитие перевозок и конкурентоспособности судов река–море плавания нового поколения / А. А. Булов, Д. Р. Воронцова // Журнал Университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2012. — Вып. 1. — 252 с.
2. Лазарев А. Н. Повышение конкурентоспособности судов речного флота путем их модернизации / А. Н. Лазарев, С. С. Марченко // Журнал Университета водных коммуникаций. — СПб.: ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2013. — Вып. 2. — 186 с.
3. Размерная модернизация и переоборудование судов / А. А. Гундобин, Г. Н. Финкель. — Л.: Судостроение, 1977. — 192 с.
4. Правила ремонта судов Министерства речного флота РСФСР. — М.: Транспорт, 1990. — 72 с.
5. <http://official.academic.ru>
6. Российский речной регистр. Руководство Р.002-2010 «Обновление судов внутреннего и смешанного (река–море) плавания». — М., 2010.
7. <http://idsr.com.ua/page9.php?post=5>
8. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г. — М., 2013.
9. Стратегии развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 г. — М., 2013.

РАЗРАБОТКА МОРСКИХ И ШЕЛЬФОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

УДК 699.8

И. Н. Малышев,
канд. техн. наук,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

Б. П. Ивченко,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ПРИРОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ УГРОЗ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА АРКТИЧЕСКИХ ШЕЛЬФОВЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РОССИИ

NATURAL SOURCES FOR THREATS OF EMERGENCY OCCURRING IN THE ARCTIC OFFSHORE HYDROCARBON FIELDS IN THE RUSSIAN FEDERATION

В статье рассмотрены природные источники угроз возникновения чрезвычайных ситуаций при обустройстве арктических шельфовых месторождений. Показано, что хозяйственную деятельность на арктическом шельфе нельзя проводить без вероятностного обоснования возникновения природных катастроф и экстремальных экологических ситуаций.

In the article the natural sources of threats of emergencies in the regeneration of the arctic offshore. It is shown that economic activity in the Arctic shelf can not be carried out without a probabilistic justification of a natural disaster and extreme environmental situations.

Ключевые слова: арктический шельф, чрезвычайные ситуации, природные источники угроз.
Key words: arctic shelf, emergencies, natural sources of threats.

МИРОВОЙ опыт разведочных и эксплуатационных работ по освоению нефтегазоносных месторождений в северных широтах — месторождений Северного моря, арктического шельфа Канады и Аляски — свидетельствует о разнообразных, подчас неожиданных и совершенно непредвиденных трудностях, возникающих в ходе проведения этих работ.

Поэтому при обустройстве первоочередных месторождений Западно-Арктического шельфа, намеченных к эксплуатации уже в ближайшее время, таких как Штокмановское газоконденсатное месторождение (ШГКМ) и Приразломное нефтяное месторождение, в первую очередь необходимо иметь представление о природных особенностях районов этих месторождений.

Уникальное Штокмановское газоконденсатное месторождение (с запасами газа более 3,7 трлн м³), а также четыре других крупных газовых месторождения (Мурманское, Ледовое, Северо-Кильдинское, Лудловское) находятся в Баренцевом море.

Баренцево море расположено на границе Норвегии и России. Оно тянется от норвежского побережья до архипелага Шпицберген на западе, а также до Новой Земли и Земли Франца-Иосифа на востоке. Баренцево море является сравнительно неглубокой частью Мирового океана со средним значением глубин ~ 230 м. Для рельефа дна характерно наличие множества отмелей, разделяющих глубоководные течения и бассейны. Рельеф дна также оказывает большое влияние на разделение и движение водных масс. На западе континентальный откос простирается на 2000–3000 м в сторону Норвежского моря, которое по сравнению с Баренцевым морем является

глубоководной частью океана. Часть моря на севере от Шпицбергена также обладает большими глубинами.

Поверхность Баренцева моря на 75 % покрыта льдом, но могут быть значительные сезонные изменения. В Баренцевом море преобладают дрейфующие льды.

Баренцево море является самым плодородным и в то же время самым чувствительным в плане ресурсов из всех арктических морей.

С другой стороны, Баренцево море является единственным в арктическом регионе, где проводилось самое большое количество исследований. Поэтому для него особо остро стоит главная проблема — гармонизация потенциально конфликтных отраслей — нефтегазодобычи и рыболовства.

В последнее десятилетие в мире, особенно в северных регионах, отмечается увеличение повторяемости, интенсивности и продолжительности опасных и экстремальных природных явлений, оказывающих негативное воздействие на население и хозяйственную деятельность.

Прогнозируется, что особенно усиливаются негативные явления, обусловленные ростом ветровой активности, а именно:

- повторяемость ледовых штормов, то есть шторм в холодный период года на акваториях с редким льдом;

- интенсивность брызгового обледенения;

- интенсивность разрушения берегов, сложенных рыхлыми вечномерзлыми породами.

Важной особенностью, как отмечают специалисты, следует ожидать в Баренцевом море сохранение наметившейся в конце XX — начале XXI в. тенденции к увеличению вероятности появления айсбергов в районах северных морских месторождений, включая Штокмановское.

Сохраняется риск вторжения арктических паковых льдов в более южные районы моря.

Печорское море Северного Ледовитого океана представляет собой юго-восточную часть Баренцева моря между островами Колгуева и Вайгач. Размеры Печорского моря в широтном направлении от острова Колгуева до пролива Карские Ворота составляет 300 км, в меридиальном направлении от мыса Русский Заворот до Новой Земли — около 180 км.

Площадь акватории Печорского моря — 81 263 км³. Море мелководное с постоянным увеличением глубины в меридиональном направлении от материкового берега. Максимальная глубина достигает 210 м.

Печорское море с ноября по июнь покрыто плавучими льдами. Температура воды летом не выше 9 °С.

Большая часть Печорского моря, включая районы таких нефтегазоперспективных структур, как Приразломное, Варандей-море, Поморское, Медынское море и другие, а также район строительства перехода трубопровода через Байдаракскую губу в Карском море, находится в сложных сейсмогеологических условиях.

Месторождения Печорского моря могут рассматриваться как продолжение северной части Тимано-Печорской нефтегазовой провинции.

Освоение этой территории требует создания единой для суши и моря системы коммуникаций, транспортировки добываемого сырья и обеспечения материальными и трудовыми ресурсами.

А это означает, что воздействию последствий чрезвычайных ситуаций могут подвергнуться как сухопутные, так и морские экосистемы, процессы в которых во многом взаимосвязаны и взаимобусловлены.

Северный Ледовый океан и его арктический шельф занимают особое место в ряду океанов Земли из-за обширной субмаринной криолитозоны.

С этой зоной связано и возможное образование скоплений газовых гидратов.

Существование субмаринной криолитозоны определяется главным образом отрицательной температурой природных слоев воды и глубоким промерзанием в течение геологического периода. Нефтегазовые месторождения центральной, северо- и юго-восточной части Баренцева моря находятся в зоне распространения донных осадков с отрицательными температурами.

В Печорском море субмаринная криолитозона может быть отнесена к линзам остаточной деградирующей многолетней мерзлоты на глубинах 40–100 м над дном моря.

Мерзлота здесь имеет прерывистый характер.

В инженерно-геологическом отношении мерзлые газогидратоносные отложения представляют собой категорию пород особого состава, состояния и свойств, что требует специального подхода при освоении арктических акваторий.

Как утверждают специалисты, эти особенности необходимо учитывать при решении таких важных в практическом отношении вопросов, как строительство стационарных морских ледостойких платформ на арктическом шельфе, строительство и эксплуатация трубопроводов и других сооружений. Также следует учитывать возможные нарушения естественного теплового режима в верхнем осадочном чехле при бурении и эксплуатации скважин.

Как показывают исследования, с достаточной степенью уверенности можно утверждать, что в районе Штокмановского месторождения имеются реальные условия накопления и существования газовых гидратов в разрезе пород под дном моря до глубины 200 м. Можно отметить, что зоны возможной газогидратности весьма обширны и могут рассматриваться в будущем в качестве источников углеводородов.

Возможные скопления газовых гидратов в придонной части разреза, однако, могут служить серьезными осложнениями при строительстве гидротехнических сооружений и эксплуатации скважин. В центральной части Баренцева моря, где расположено ШГКМ, эти осложнения могут быть усугублены находящимися там тектоническими разломами.

Как показывает исследование, на образование и накопление гидратов, помимо температуры, давления и минерализации, существенно влияет литология пород. Для литологического состава верхней части разреза в районе ШГКМ до глубин 20–30 м от дна моря прогнозируется присутствие гидратов в виде отдельных вкраплений. На глубине до 200–250 м в разрезе присутствуют породы, способные аккумулировать значительные скопления гидратов.

Все эти сведения необходимы для правильной оценки принимаемых технических решений при обустройстве месторождений на арктическом шельфе.

Так, например, в процессе разработки месторождения вокруг эксплуатационных колонн вследствие транспортировки по ним теплового газа из нижележащих горизонтов происходит увеличение температуры окружающих пород, что приводит к изменению фазового состояния воды и газа в гидратонасыщаемых интервалах вокруг скважин. Как показывает расчет применительно к Штокмановскому месторождению, исходя из характеристик пород, слагающих верхние интервалы геологического разреза, область фазового перехода между талой и мерзлой зонами будет представлять резкую границу. Расчеты показывают также, что при проектном расположении устьев скважин на платформе на расстоянии 3–4 м друг от друга тепловое взаимодействие скважин начнется в течение первого года разработки, а за 10 лет эксплуатации будет иметь место смыкание зон растепления отдельных скважин.

По мнению специалистов, указанные процессы могут привести к следующим осложнениям, которые потенциально являются источниками возникновения чрезвычайных ситуаций при обустройстве шельфовых месторождений в Баренцевом море.

1. Грифонообразование (то есть неконтролируемый спонтанный выброс фонтана) в связи с выделением свободного газа при разложении гидратов, что является принципиальным отличием от результатов растепления вечной мерзлоты на суше.

Оценки данного явления показывают следующее.

Считая, что на 1 м³ гидрата приходится 150–180 м³ газа, можно ожидать в течение первого года разработки выделения 10–30 тыс. м³ газа, приходящегося на 1 м² гидратосодержащих пород.

Грифонообразование у устья скважин может вызвать перераспределение напряжений в геологическом разрезе из-за изменения упругих характеристик пород значительной области горного массива. Перераспределение напряжений сопряжено с возникновением дополнительных нагрузок, действующих на промысловое оборудование.

Грифонообразование с выделением газа на поверхности моря у платформ увеличивает риски пожароопасности, а также препятствует судоходству из-за уменьшения плотности воды.

2. Уменьшение модуля упругости гидратосодержащего интервала пород в области его «растепления» приведет к дополнительным деформациям этого интервала под давлением горных пород, создаваемым их весом, давлением воды и весом платформы, если она опирается на дно. На поверхности пород эта деформация проявится в виде опускания дна в области расположения скважин. При жестком закреплении устья скважин на платформе в колонне или подводном добычном модуле будут возникать дополнительные нагрузки.

Таким образом, наличие скопления гидратов в зоне работающих скважин является фактором, осложняющим разработку месторождения, и выступает как потенциальный источник угрозы возникновения чрезвычайных ситуаций.

Другим природно-техногенным фактором возможных чрезвычайных ситуаций, негативных последствий разработки нефтегазовых месторождений является осадка донной поверхности и возникновение техногенных землетрясений в результате снижения начального пластового давления в продуктивных пластах при извлечении флюидов, то есть газа, газового конденсата, нефти.

Следует также отметить, что осадка донной поверхности возможна и за счет растепления природных газовых гидратов, о которых уже шла речь.

Возникновение чрезвычайных ситуаций может быть следствием смещения земной поверхности, которое может привести к выходу из строя эксплуатационные скважины из-за разгерметизации заколонных пространств, смятия и слома обсадных колонн, деформации трубопроводов, а также к уменьшению клиренса платформы до уровня досягаемости волн и выходу из строя крепящих якорей.

Как показывают исследования, часть месторождений углеводородов Западно-Арктического шельфа России, включая ШГКМ, имеют условия, в общих чертах сходные с условиями залегания промышленных залежей месторождений Северного моря, и в частности на промыслах Экофикс, Берген, Элдфиск и др.

Схожесть характера упомянутых месторождений определяется их принадлежностью к Арктико-Североатлантической рифтовой системе, развитие которой обусловило формирование Североморского, Баффинова, Норвежского, Баренцево-Северо-Карского и Западно-Сибирского осадочных бассейнов.

Извлечение углеводородов из недр месторождений Северного моря на поддонных глубинах 2000–3000 м, что близко к показателям Штокмановского месторождения, вызвало почти катастрофическое оседание донной поверхности, обусловившее необходимость подъема шести платформ на промыслах Экофикс (Норвегия) на высоту 6 м каждая. Проседание имело место на площади 5×8 км овальной формы в центральной части месторождения под основным комплексом промысловых сооружений. Для предотвращения оседания морского дна в течение двух лет осуществлялась обратная закачка сухого газа в пласт в объеме 8,5–9,9 млн м³/сут.

Можно предположить, что и эксплуатация залежей углеводородов категории «А» на Западно-Арктическом шельфе, особенно на гигантском ШГКМ, несомненно, вызовет существенную деформацию донной поверхности.

Расчетные оценки применительно к ШГКМ показывают следующее.

Предварительно намеченный к извлечению из недр объем газа составляет 45 млрд м³/год при подаче по двум ниткам. В пластовых условиях при среднем давлении 220 атм этот объем составит примерно $2,05 \times 10^8$ м³/год. Площадь газовой залежи составляет около $6,5 \times 10^8$ м². Поэтому величина средней осадки донной поверхности над залежью газа при указанном среднегодовом отборе (45 млрд м³/год) составит 0,32 м/год.

В случае же возможного увеличения ежегодного объема добычи газа для обеспечения подачи по трем или четырем ниткам, то есть до 68–90 млрд м³/год, средняя скорость прогибания донной поверхности может достичь 0,5–0,6 м/год.

На нефтяных промыслах Северного моря, разрабатываемых с 1969–1975 гг., по замерам, начатым с 1984 г., скорость оседания морского дна, то есть погружения платформ, составляла в среднем 0,4 м/год, снизившись, однако, в 1988–1989 гг. до 0,3 м/год.

Проецируя эти данные на ШГКМ, можно предположить, что отбор газового конденсата, вызывающий здесь среднюю осадку донной поверхности 0,3 м/год, обусловит погружение платформ в центре мульды на величину порядка 0,5 м/год, а на ее периферии — примерно 0,2 м/год. Эти данные коррелируются с приведенными выше расчетными оценками.

Корректировка прогнозной конечной величины прогибания морского дна возможна через 1–2 года наблюдений за понижением донной поверхности.

По выполненным оценкам, прогибание донной поверхности при эксплуатации ШГКМ приведет через 12–25 лет эксплуатации в зависимости от объема извлеченных углеводородов к формированию мульды оседания глубиной в центральной части порядка 10 м, а возможно и большей.

Деформации донной поверхности вызовут опускание платформ с уменьшением высоты пролетного строения платформ над уровнем моря, и в краевых частях мульды возможен наряду с опусканием наклон платформ и другие их деформации.

Разработка подводных залежей газа и газового конденсата может сопровождаться микросейсмоактивностью. В случае сейсмотектонической активности на Штокмановском месторождении, учитывая относительно низкие прочностные свойства горных пород, нельзя исключать просачивание газа из коллекторов во вторичные ловушки и его выход на донную поверхность Баренцева моря.

Опускание донной поверхности и связанные с этим процессом деформирования горных пород обуславливают подвешивание и изгибание труб, проложенных по дну, что может привести к их разрыву с неблагоприятными последствиями.

По опыту работ в Северном море, под воздействием сжатия горных пород собственно газовых залежей возможно сплющивание, изгиб или полное разрушение обсадных труб и эксплуатационных колонн на отдельных интервалах глубин.

Оценка чрезвычайных ситуаций, обусловленных последствиями аварий на подводных газопроводах, связана с расчетами динамики выброса и рассеяния газожидкостной струи в воде. При полном разрыве подводного газопровода образуется мощная газовая струя, поведение которой зависит от глубины залегания трубопровода, то есть от высоты столба воды над ним.

Последствиями такой чрезвычайной ситуации могут быть:

- образование на поверхности моря облака с высокой концентрацией природного газа;
- возникновение газожидкостного фонтана или газожидкостного пятна на поверхности моря с пониженной плотностью, через которое также выбрасывается облако природного газа;
- возможность возгорания и токсического воздействия при определенной концентрации метана на поверхности моря.

Газожидкостные (газоводяные) фонтаны, возникающие над поверхностью моря, характерны при разрыве трубопровода на мелководье. Образование и существование в течение определенного времени на поверхности моря пятна газоводяной смеси с меньшей плотностью, чем плотность морской воды, создает серьезную угрозу для судоходства в этом районе.

Особенно сложные условия воздействия геологической среды на системы магистральных трубопроводов проявляются в зонах береговых примыканий. На прибрежном мелководье трубопроводы могут быть повреждены плавучими и застомушенными льдами, вспахивающими дно на глубинах моря до 20 м при глубине борозд в донном грунте до 2 м и ширине 13–30 м.

На Колгуево-Печорском мелководье перемещение наносов, особенно интенсивное до глубины 30 м, формирует постоянно перемещающиеся островные бары. Отметки рельефа дна только за один шторм изменяются на величину от 0,2 до 1,5 м.

Наименьшей устойчивостью обладает геологическая среда в зонах берегового примыкания, сложенных рыхлыми многолетнемерзлыми отложениями.

Указанные особенности могут послужить предпосылками возникновения чрезвычайных ситуаций при обустройстве и последующей эксплуатации Приразломного нефтяного месторождения.

Отметим еще одну важную особенность взаимовлияния геологической среды и протяженных подводных газопроводов, соединяющих газовые и газоконденсатные месторождения с береговыми терминалами.

Отличительной чертой проектируемых газопроводов ледовитых морей Арктики является, как правило, отсутствие промежуточных компрессорных станций. Их наличие позволило бы поддерживать достаточно высокую температуру газа на всем протяжении его транспортировки. Снижение же давления в газопроводе по всей длине определяет и падение температуры газа вплоть до отрицательных значений.

Как показывают расчеты, снижение температуры газового потока в трубопроводе, омываемым морской водой, за счет полной его энтальпии, не превышает 0,6–0,7 °C от температуры окружающей среды.

При заглублении в морской грунт и существенном уменьшении за счет этого теплообмена с окружающей средой температура газа в трубопроводах может понижаться до –6 и ниже градусов Цельсия, что существенно ниже температуры замерзания водной среды. Отсюда следует, что термическое воздействие газопроводов на геологическую среду может сказаться в промерзании отложений, контактирующих с газопроводами на участках заглубления трасс в донные грунты.

Промерзание участков газопровода в грунте и обледенение труб, проложенных по донной поверхности, создает предпосылки чрезвычайных ситуаций, которые могут привести к серьезным авариям с тяжелыми экономическими и экологическими последствиями.

Еще одним из наиболее опасных элементов природной среды, создающих угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций как для судоходства, так и для функционирования инженерных сооружений и коммуникаций, расположенных в шельфовой зоне арктических и субарктических морей, являются айсберги.

Следует отметить, что без учета данного феномена освоение природных ресурсов арктического шельфа сопряжено с повышенным риском как с точки зрения безопасности обустройства инженерных сооружений, так и с точки зрения минимизации ущерба, наносимого природной среде при последствиях возможных столкновений айсбергов с сооружениями в море.

Избежать столкновения с айсбергом или максимально уменьшить ущерб можно только при условии хорошо организованной службы мониторинга (слежения) различными техническими средствами за их перемещением.

В арктических морях России рассматриваются четыре основных источника образования айсбергов: Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, Шпицберген, Северная Земля.

Изучению процессов формирования, движения айсбергов, а также в последнее время и изучению процесса управления движением айсбергов уделяют большое внимание ведущие научные организации, такие как Арктический и Антарктический НИИ, ВНИИ океанологии, ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова.

Одной из ключевых задач является отработка технологии активного воздействия на айсберг.

В соответствии с действующими нормативами Госстроя России до начала освоения любых месторождений требуется проведение пятилетнего цикла инженерных изысканий.

Результаты работы экспедиций в районах ШГКМ и Приразломного месторождения показали, что на примыкающих к ним акваториях могут появиться айсберги разных размеров, которые представляют значительную угрозу для подводных сооружений. Добычные платформы могут не выдержать даже скользящего удара ледяного гиганта.

Поэтому при обустройстве этих месторождений в районе добычных платформ будет функционировать система мониторинга дрейфа ледяных полей и айсбергов. В случае если траектория движения айсберга будет представлять угрозу для платформы, потребуется задать айсбергу иное направление движения. Изучаются разные методы, в том числе отбуксировка айсберга судами.

Как средство предупреждения угрозы столкновения с айсбергом можно рассматривать применение полупогружных платформ, способных в случае необходимости перемещаться на безопасные с точки зрения соударения расстояния от айсберга.

Анализируя природные источники угроз возникновения чрезвычайных ситуаций при освоении шельфовых арктических углеводородных месторождений, нельзя не затронуть еще одну проблему, более масштабную по своим последствиям, тем самым способную оказать негативное воздействие на весь процесс освоения минерально-сырьевой базы Арктики.

Предполагается, что ожидаемое потепление и таяние наземной и субаквальной мерзлоты в Арктике приведет к значительной мобилизации захороненного ранее наземного древнего органического вещества (ДОВ), увеличению его выноса в море и включению в современный биогеохимический цикл углерода.

Конечным продуктом разложения ДОВ является диоксид углерода (CO_2) в аэробных условиях и метан (CH_4) в анаэробных условиях.

Согласно существующим оценкам, только в верхнем стометровом слое наземной мерзлоты Арктики содержится около 10^{13} т углерода ДОВ.

Другим крупнейшим резервуаром органического углерода, потенциально доступным к вовлечению в современные геохимические процессы, являются метановые газогидраты, о которых мы уже упоминали ранее. По оценкам, их запасы на суше оцениваются в $3,2 \times 10^{13}$ т углерода, а на шельфе — приблизительно в $0,6 \times 10^{13}$ т углерода.

Если сопоставить эти цифры с количеством углерода в составе CO_2 и CH_4 , содержащихся в современной атмосфере, то становится очевидным, что вовлечение в круговорот даже незначительной доли этого отравляющего вещества, аккумулированного в углеводородном резервуаре вечной мерзлоты и метановых газогидратах, может привести к существенному увеличению эмиссии в атмосферу основных парниковых газов, определяющих глобальные изменения климата.

Таким образом, одним из важнейших последствий изменения термического режима субаквальной мерзлоты и дестабилизации газогидратов может стать поступление огромных количеств метана в атмосферу. Имеются данные, указывающие на то, что в арктических морях, например в Баренцевом море, где субаквальная мерзлота уже деградировала или находится в заключительной стадии деградации, происходил катастрофический выброс метана из газогидратов, что привело к формированию множества кратерообразных структур на дне.

Не исключено, что шельф морей тихоокеанского сектора Арктики уже переходит в критическую стадию потепления. Для окончательного перехода ситуации в критическую фазу, как показывают расчеты, достаточно дестабилизировать малую долю запасов арктических газогидратов.

Из полученных Дальневосточным отделением РАН в 2003–2004 гг. данных следует, что в поверхностном и придонном слоях морей тихоокеанского сектора Арктики, который включает северную часть Берингова моря, Чукотское море, Восточно-Сибирское море, западную часть моря Бофорта, выделяются районы аномально высоких концентраций растворенного в воде метана (CH_4), которые пространственно коррелированы с разломными структурами на дне.

Ученые придерживаются мнения о том, что обнаруженные в тихоокеанском секторе Арктики аномалии в распределении метана в воде, а также и в воздухе могут быть предвестниками катастрофического разрушения субаквальных газогидратов, включая и «реликтовые» газогидраты.

Следует отметить, что тихоокеанский сектор Арктики характеризуется самым широким и мелководным шельфом в Мировом океане, большая часть которого подстилается субоквальной мерзлотой. Если распространить данные, полученные для ряда морей тихоокеанского сектора Арктики, на все мелководные шельфовые моря Северного Ледовитого океана, то общая эмиссия метана в атмосферу может быть в таких пределах в год, которые в 4 раза превышают годовую эмиссию метана из всех шельфовых морей Мирового океана, рассчитанную без учета Северного Ледовитого океана.

Конечно, для корректного построения прогнозных сценариев климатических изменений в Арктике и в Северном полушарии в целом необходимы дальнейшие исследования, в частности количественные оценки положительной обратной связи «потепление–таяние мерзлоты» и «разрушение гидратов–эмиссия парниковых газов».

Таким образом, обоснование вероятностных оценок возникновения экстремальных экологических ситуаций и природных катастроф, обусловленных изменениями окружающей среды в системе «атмосфера–суша–шельф», в Восточной Арктике и их влияние на весь Арктический регион, включая и хозяйственную деятельность по добыче углеводородного сырья в Западно-Арктическом секторе, нельзя проводить без привлечения ранее не учитываемого фактора «арктической шельфовой метановой бомбы».

Список литературы

1. *Ивченко Б. П.* Обеспечение национальной безопасности при освоении минерально-сырьевой базы шельфовых месторождений Арктики / Б. П. Ивченко, А. Р. Гинтовт [и др.]. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: ИД «Петрополис», 2010. — 432 с.
2. *Чертанов В.* Морской компонент глобальной системы противоракетной обороны США / В. Чертанов // Зарубежное военное обозрение. — 2009. — № 11.
3. *Дмитриевский А. Н.* Арктический шельф: проблемы, безопасность и перспективы освоения / А. Н. Дмитриевский, В. М. Максимов // НЕФТЕГАЗ / Ин-т проблем нефти и газа РАН. — 2007 (май).
4. *Кульпин Л. Г.* Гидратонасыщенность субмаринной криолитозоны и прогноз осложнений при освоении арктических месторождений / Л. Г. Кульпин, Д. А. Дубровский [и др.] // II International Conference on Natural Gas Hydrates. — Toulouse, 1996.
5. <http://seaoil.ru/wp-includes/images/public/Barentskis.pdf>
6. *Чулков А. Д.* Анализ рисков открытого фонтанирования при бурении скважин и эксплуатации нефтедобывающих платформ континентального шельфа на стадии проектирования / А. Д. Чулков, С. В. Руденко; НТИЦ «Промышленная безопасность». — М., 2004.
7. Elevating the decks at Ekofisk field Offshore. — 1987. — Vol. 47, № 10.
8. Anonymous Exxon under attack again Mar. Pollut. Bull. — 1994. — Vol. 28, № 5.

УДК 699.8

Б. П. Ивченко,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ПРОБЛЕМЫ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОСВОЕНИИ ШЕЛЬФОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АРКТИКИ

NATIONAL SECURITY ISSUES IN THE DEVELOPMENT OF OFFSHORE FIELDS IN THE ARCTIC

В статье рассмотрено нарастание геополитических и геоэкономических межгосударственных противоречий при освоении природных ресурсов и морских коммуникаций в Арктике. Показано, что эффективное решение Россией проблемы национальной безопасности в Арктике обеспечит ее устойчивое социальное и экономическое развитие в будущем.

The paper considers the geopolitical and geo-economic growth of interstate differences in the development of natural resources and sea routes in the Arctic. It is shown that an effective solution to Russian national security issues in the Arctic, it will ensure sustainable social and economic development in the future.

Ключевые слова: национальная безопасность, Арктическая зона Российской Федерации, арктические прибрежные государства, арктический шельф, противоречия и претензии между арктическими и не-арктическими государствами.

Key words: national security, the Arctic zone of the Russian Federation, the Arctic coastal states, the Arctic shelf, controversies and claims between the Arctic and non-Arctic states.



АРКТИЧЕСКОЕ направление относится к одному из основных российских внешнеполитических приоритетов. «Основами государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года», утвержденными президентом страны в 2008 г. и Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) и обеспечения национальной безопасности до 2020 года, утвержденной президентом в феврале 2013 г., поставлена цель использования Арктической зоны России в качестве стратегической ресурсной базы, способной в значительной степени обеспечить потребности страны в углеводородах, водных биологических ресурсах и других видах продуктов минерально-сырьевой базы.

Реализация этих интересов непосредственно связана с проблемой обеспечения национальной безопасности России в Арктической зоне и в более широком значении — с геополитической ситуацией, сложившейся в настоящее время в целом в Арктике.

Современная геополитическая и геоэкономическая ситуация в мировой Арктике характеризуется нарастанием противоречий в освоении ее природных ресурсов и морских коммуникаций.

Известно, что Арктика занимает всего около 6 % поверхности Земли, но в ее недрах может храниться до четверти мировых запасов углеводородов. По данным совместных исследований геологических служб США и Дании, свыше 100 млрд т условного топлива, 30 % неразведанных мировых запасов газа и 13 % запасов нефти находится в шельфовой зоне арктических морей, на глубине моря не более 500 м. Прогнозируемые запасы нефти и газа в Арктике превосходят ресурсы континентальных окраин любого океана Земли.

По мнению ряда крупнейших отечественных и зарубежных специалистов, освоение богатейших углеводородных ресурсов Арктики может послужить для России гарантией долговременной экономической стабильности и энергетической независимости. И это хорошо известно военно-политическому руководству ведущих мировых держав.

В настоящее время на арктический регион в разной степени претендуют государства: США, Россия, Канада, Норвегия, Дания, Великобритания, Исландия, Бельгия, Ирландия, Швеция, Финляндия, Нидерланды, Германия, а также Япония и Китай и ряд других государств.

Китай уже имеет наземную базу на Шпицбергене и в период 2012–2015 гг. планирует направить три крупных экспедиции в Арктику. Планируется построить второй мощный ледокол водоизмещением около 8000 т.

Первый китайский ледокол уже несет службу в арктических районах.

Претензии различных государств в значительной степени обусловлены отсутствием сегодня твердо установленного международно-правового статуса Арктики.

Исторически основу правового режима Арктики составили прежде всего правовая практика арктических государств, их национальное законодательство.

Следует отметить, что понятие «арктические государства» включает восемь государств, территория которых пересекается Северным полярным кругом. В этом смысле к арктическим государствам относят Россию, Канаду, США, Норвегию, Данию, Финляндию, Исландию, Швецию.

Данное положение было отражено в тексте Декларации о защите арктической среды (1991).

Институциональным закреплением формата «арктических государств» стало принятие Декларации об учреждении Арктического совета в 1996 г., согласно которой указанные государства

стали постоянными его членами. При этом список членов Арктического совета является законченным, то есть не подлежащим расширению. Отметим, что, помимо постоянных членов, обозначены еще постоянные участники Арктического совета.

К ним отнесены Приполярная конференция инуитов, Совет саамов и Ассоциация коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации.

Согласно Декларации 1996 г. неарктические государства, а также международные организации могут получить статус наблюдателей в Арктическом совете.

Восемь стран-членов Арктического совета приняли уже немало юридически значимых документов, нацеленных главным образом на региональное сотрудничество в области охраны окружающей среды в Арктике.

Однако в формировании правового положения Северного Ледовитого океана исторически была и остается определяющая роль только пяти государств, побережья которых выходят к морям Арктики, то есть России, Канады, США, Норвегии, Дании. В международных документах их называют «арктические прибрежные страны».

Первые международные договоры о правах на полярные владения в Арктике предусматривали размежевание по секториальному (меридиальному) принципу. Это положение отражено в договорах между Россией и Англией в 1825 г. и между Россией и Североамериканскими Соединенными штатами в Вашингтоне в апреле 1867 г. об уступке российских североамериканских колоний. Оба эти договора являются действующими.

В 1920 г. в Париже была принята Декларация о секторном принципе деления Арктики между пятью арктическими прибрежными государствами. Однако юридически в виде международного права эта Декларация не была оформлена. Данное положение долгое время не вызывало возражений со стороны мирового сообщества, до тех пор пока не стало известно о потенциальных природных богатствах Арктики.

Правовое положение водных и ледяных пространств Арктики, сложившееся в течение нескольких столетий, было изменено, а точнее говоря, поставлено под сомнение при вступлении в силу Конвенции ООН по морскому праву 1982 г. Согласно Конвенции 1982 г. прибрежные государства имеют права на районы внутренних морских вод, территориального моря, двучотмильную исключительную экономическую зону. Согласно ст. 76 Конвенции 1982 г. прибрежные государства могут претендовать на расширение своих исключительных экономических зон на величину протяженности континентального шельфа, если будет доказана принадлежность дна океана к континентальному шельфу свыше двучотмильной зоны.

В настоящее время Конвенцию 1982 г. подписали четыре арктических прибрежных государства, США до настоящего времени не поставили своей подписи под этим решением.

Присоединение СССР (России) к Конвенции 1982 г. формально можно трактовать как утрату юридических прав на российский арктический сектор.

Вместе с тем специфика сложного в географическом и климатическом отношении Арктического региона, недостаточно четкие формулировки Конвенции 1982 г. относительно Арктики, а также то, что одно из пяти арктических прибрежных государств не является участником Конвенции 1982 г. не позволяют однозначно считать правомерным применение ст. 76 Конвенции к оценке арктических владений России. Вопрос состоит в том, что распространение положений Конвенции 1982 г. на регион Арктики не вполне правомерно.

Известно, что к началу III конференции ООН, принявшей указанную Конвенцию, международное сообщество давно признало особые приоритетные права арктических прибрежных государств, в том числе те, которые обозначены в международных договорах между ними, прежде всего в упомянутых ранее русско-английской Конвенции о границах 1825 г., в Конвенции об уступке Аляски 1867 г., в национальных законах арктических стран.

Есть также свидетельства того, что понимание арктическими прибрежными государствами данной проблемы сводилось к тому, что полярные регионы Арктики и Антарктики исключались из специального рассмотрения Конвенции. Иными словами, эти регионы не рассматривались как

объекты Конвенции ООН по морскому праву 1982 г. на вполне убедительных основаниях, поскольку они уже имели свой сложившийся, специфический для каждого из них правовой статус. Для Арктики — это договорной статус, для Антарктиды — обычно-правовой статус.

Однако, несмотря на указанные фундаментальные особенности правового положения Арктики и отмеченное изначально намерение арктических прибрежных государств не рассматривать полярные регионы в качестве объекта Конвенции 1982 г., подписание и вступление в силу Конвенции 1982 г., последующий поступательный рост числа ее государств-участников неизбежно оказывают влияние на развитие правовых режимов полярных районов.

Стремление к проникновению в Арктику неарктических государств наглядно иллюстрирует позиция стран НАТО и Европейского Союза.

В базовом документе Европейского Союза — «Европейский Союз и арктический регион» — делается акцент на глобально-договорной уровень праворегулирования отношений государств в Арктике, на абсолютизацию применимости к Арктическому региону Конвенции 1982 г.

В указанном документе констатируется, что за пределами национальной юрисдикции в Северном Ледовитом океане находятся районы открытого моря и морского дна, которые управляются международным органом по морскому дну. Таким образом, Европейский Союз не допускает, что пять арктических прибрежных государств вправе разграничить между собой районы дна полужамкнутого Северного Ледовитого океана как и их континентального шельфа на основе международного права.

Такое разделение принципиально возможно, опираясь на обычные правовые нормы, отраженные, например, в положениях ст. 6 Конвенции о континентальном шельфе или в ст. 83 Конвенции 1982 г. Однако Европейский Союз, и особенно входящие в него неарктические страны, заинтересован в том, чтобы Россия и другие арктические прибрежные страны исполняли именно ст. 76 Конвенции, ограничив тем самым шельф по критериям, в ней установленным, отделив в Арктике международный район, практически в интересах ведущих западных компаний.

Интересно отметить, что, следуя ст. 76 Конвенции 1982 г., центрально-арктический район Северного Ледовитого океана, имеющий согласно ей статус открытого моря, со всех сторон «закрывают» морские районы, находящиеся под национальной юрисдикцией прибрежных арктических стран. Морские суда арктических и неарктических стран могут попасть в центрально-арктический район, обязательно пересекая район исключительной экономической зоны какого-либо из пяти арктических прибрежных государств.

Проход по Северному Ледовитому океану из Азии в Европу или в обратном направлении также невозможен без пересечения районов, под суверенитетом или юрисдикцией какого-либо из пяти арктических прибрежных государств.

Безопасное судоходство, рыболовство или иная хозяйственная деятельность в центрально-арктическом районе в суровых полярных условиях любым неарктическим государством возможна только при поддержке соответствующего арктического прибрежного государства, при опоре на его береговую инфраструктуру, технические средства связи, возможности реагирования на чрезвычайные ситуации, поиска и спасения людей и грузов, устранения последствий загрязнения окружающей среды.

В настоящее время значительная часть центрально-арктического района круглогодично покрыта льдами. Однако ситуация может измениться с их таянием и привести к обострению обстановки.

Поэтому уточнение правового режима морских регионов Арктики требует своего решения. При этом в силу указанных ранее обстоятельств лидирующая роль правового режима Арктики должна принадлежать арктическим прибрежным государствам.

Практика арктических прибрежных государств идет по пути развития эффективного регионального правового режима.

Важнейшим современным международно-правовым документом регионального уровня, характеризующим статус Арктики, является Илулиссатская декларация от 28 мая 2008 г., при-

нятая пятью арктическими прибрежными странами. В Декларации, в частности, закреплено положение о том, что арктические прибрежные государства «не видят необходимости в разработке нового всеобъемлющего международно-правового режима управления Северным Ледовитым океаном».

Это не единственный международно-правовой акт, являющийся результатом успешного регионального сотрудничества арктических государств.

Поэтому в рамках регионального согласования арктическим прибрежным государствам целесообразно установить внешние границы арктического шельфа и осуществить его делимитацию именно на основе общего международного права, а не сугубо на основе одной из договорных норм — ст. 76 Конвенции 1982 г.

Как отмечено в ежегодном докладе за 2012 г. Экспертного совета по Арктике и Антарктике при председателе Совета Федерации Федерального собрания РФ, «целесообразна модернизация правовой позиции России по сравнению с той, которая обозначена в 2001 году», где была выражена готовность России согласно ст. 76 Конвенции 1982 г. отказаться от более 330 тыс. км² шельфа в своем арктическом секторе.

Оrientировка на модернизацию правовой позиции России в общем плане содержится в документах Президента РФ и его Администрации.

Таким образом, первоочередной задачей обеспечения национальной безопасности является юридическое закрепление внешней границы Арктической зоны Российской Федерации, базирующееся как на международно-правовых нормах, так и на нормах регионального правового режима.

Проблемы Арктического региона не могут быть в стороне от современных общемировых тенденций.

Сегодня мировое сообщество стоит на пути глобализации всех сфер международной жизни, отличающейся высоким динамизмом и взаимозависимостью.

Развитие глобализационных процессов характеризуется своей неравномерностью, углублением разрыва между уровнем благосостояния стран, которое в целом ведет к обострению противоречий между ними.

Эти противоречия затрагивают и арктические прибрежные страны по поводу тех или иных территорий Арктики. Практически все они имеют территориальные претензии друг к другу, однако в отношении противостояния интересам России наблюдается определенная их консолидация.

Следствием обострения этих противоречий является усиление военного присутствия в Арктике.

По заявлениям некоторых зарубежных специалистов, появились признаки подготовки к так называемым «ресурсным войнам». Об этом, в частности, свидетельствует концепция НАТО, в которой на первый стратегический план выдвинута борьба за обладание энергетическими ресурсами Арктики.

В ежегодно публикуемом докладе военной разведки Дании подчеркивалось, что в ближайшие 10 лет в Арктике могут иметь место военные столкновения ограниченного масштаба. Конфликты могут быть вызваны, в частности, вооруженными силами неарктических стран, гражданскими акциями либо разработкой природных ресурсов — поисками углеводородов или рыболовством на оспариваемых территориях, а также поблизости от таких спорных территорий.

В военно-стратегических разработках США определяют себя как ведущую мировую военно-морскую державу, а ситуация в Арктике включена в так называемый перечень «вызовов новой эры», к которым США должны быть готовы. По сообщениям печати, ВМС США приступили к развертыванию военно-морской базы передового базирования в Арктике. Американские атомные подводные лодки начали постоянное патрулирование под арктическими льдами. На Аляске систематически проводятся учения вооруженных сил США и их союзников.

Подписан новый План объединенных военных командований США, который усиливает централизацию и обеспечивает тесное сотрудничество между европейским командованием и НАТО. Специалисты полагают, что этот план будет иметь решающее значение для обеспечения безопас-

ности США в процессе выдвижения странами региона своих территориальных и экономических претензий в отношении Арктики.

Для отстаивания претензий в Арктике Канада приступила к увеличению своих вооруженных сил в Арктике.

За последнее время численность канадских вооруженных сил в виде специальных подразделений рейнджеров возросла и достигла 1622 военнослужащих, состоящих в основном из индейцев-инуитов и представителей других коренных народов. Эти подразделения участвуют в контроле обширной территории.

Норвегия переместила командование вооруженными силами из южных районов страны на север, став первой страной, разместившей оперативное командование в арктических широтах — в непосредственной близости от района возможных вооруженных конфликтов за обладание ресурсами Арктики. Одновременно с перемещением центра оперативного командования в Арктику Норвегия закупила 48 боевых самолетов Lockheed F-35 для патрулирования.

Вместе с этим Норвегия стремится сократить иностранную экономическую и научную деятельность на Шпицбергене.

Норвегия намерена установить одностороннее норвежское регулирование прилегающей к архипелагу акватории и шельфа, используя неоднозначность толкования норм Парижского договора по Шпицбергену от 2 февраля 1920 г. в своих интересах.

Дания собирается разместить в Арктике воинскую часть сил реагирования и командный пост.

Объявлено о планах создания универсального арктического командования и арктических сил реагирования, а также об усилении военного присутствия на авиабазе Туле в Гренландии, которая будет открыта для союзников по НАТО.

Таким образом, современная военно-стратегическая обстановка в Арктическом регионе характеризуется постепенным расширением зоны военной активности арктических государств. Постоянное военное присутствие в Арктике и возможность защиты государственных интересов средствами вооруженной борьбы рассматриваются ими как составная часть их общей политики обеспечения национальной безопасности.

Наращивание военной мощи арктическими соседями России можно было бы рассматривать как средство политического давления. Однако, если речь пойдет о жизненно важных вопросах разработки и добычи полезных ископаемых и углеводородного сырья, а также о транспортных морских магистралях, против России могут быть предприняты более решительные меры с использованием объединенного военно-морского потенциала арктических стран и стран НАТО.

Военная активность арктических государств в Арктике создает условия по формированию угроз национальным интересам России в этом регионе.

Эти угрозы могут быть усилены вследствие возможных рецидивов односторонних силовых подходов в международных отношениях, а также противоречиями между основными участниками мировой политики и игнорированием принципов международного права.

Защита своих суверенных прав на обладание исторически принадлежащими России северными морскими территориями, морскими акваториями, северными морскими коммуникациями выступает в качестве следующей проблемы обеспечения национальной безопасности России в Арктике.

Требуется скорейшее принятие мер по укреплению военно-морской составляющей национальной безопасности, способной противостоять ожидаемым угрозам, что предусмотрено Указом Президента РФ от 7 мая 2012 г. № 603 ст. 1В.

При этом, по нашему мнению, первостепенное внимание должно быть уделено ключевым объектам двойного назначения в удаленных районах арктических морей по трассе Северного морского пути, которые, помимо обслуживания торговых и других гражданских перевозок, целесообразно развивать в интересах временного базирования сил Военно-морского флота, кораблей пограничной службы ФСБ России, а также аварийно-спасательных сил и средств.

Приоритетной задачей является также создание специализированных пограничных сторожевых кораблей нового поколения ледового класса для охраны исключительной экономической зоны и континентального шельфа.

Необходимо также отметить, что эффективность военно-морских сил, кораблей пограничной службы ФСБ, а также гражданского судовождения невозможна без современного навигационно-гидрографического обеспечения морской деятельности в Арктике.

Однако важнейшим аргументом укрепления Россией своих национальных интересов в Арктике является расширение хозяйственной деятельности в различных аспектах освоения минерально-сырьевой базы, в первую очередь углеводородных шельфовых месторождений.

Данное направление, по нашему мнению, представляет наиболее существенную сторону обеспечения национальной безопасности России в Арктике, поскольку слабые темпы или длительная задержка в освоении шельфовых месторождений в условиях истощения континентальных мировых ресурсов углеводородного сырья неизбежно будет провоцировать стремление к захвату российского шельфа.

Арктический шельф включает в себя две очень разнородные по изученности части:

— западно-арктическую (Баренцево, Печорское моря, южная часть Карского моря), где разведаны и подготовлены к разработке запасы и ресурсы нефти, газа, конденсата;

— восточно-арктическую, включающую северную часть Карского моря и восточно-сибирские моря (Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское), являющуюся наименее изученной территорией всего континентального шельфа России.

Однако, несмотря на низкий уровень геолого-геофизической изученности Восточно-Арктического региона, уже сейчас ясно его огромное потенциальное значение в отношении углеводородов.

В Баренцевом море расположено уникальное газоконденсатное Штокмановское месторождение (1988) и крупное газоконденсатное месторождение Ледовое (1992). К числу крупных месторождений свободного газа относится Мурманское (1983) и Лудловское (1992).

В составе месторождений углеводородов Печорского моря преобладают нефтяные, из которых крупными является Приразломное (1989), Медыньское море (1997), Долгинское (1999).

В Карском море открыты два уникальных месторождения свободного газа — Русановское (1989), Ленинградское (1990) и три крупных — Каменномысское море (2000), Северо-Каменномысское (2000), Обское (2000).

Балансовые запасы нефти Баренцева моря превышают 100 млн т, балансовые запасы свободного газа категорий А + В + С1 составляют около 4 тыс. млрд м³. Балансовые запасы конденсата Баренцева моря составляют 32,5 млн т.

Балансовые запасы нефти Карского моря не превышают 500 тыс. т, балансовые запасы свободного газа категории А + В + С1 составляют 1870 млрд м³, балансовые запасы конденсата оцениваются в 26 млн т.

В северной части Карского моря ресурсы углеводородов предположительно представлены нефтью в районе архипелагов Новая Земля и Северная Земля.

Вместе с тем по степени изученности и тем более освоенности арктического шельфа Россия значительно уступает другим странам.

В частности, на норвежском шельфе открыто 97 месторождений, из которых на 71 ведется нефтегазодобыча. По прогнозам ВНИИ океанологии, сделанных в 2008 г., в Баренцево-Карской провинции возможно открытие еще не менее 110 крупных месторождений углеводородов, в том числе трех гигантских.

Одно из гигантских месторождений может находиться на своде Федынского, расположенного на бывшей спорной с Норвегией территории.

Следует отметить, что в западной — норвежской — части этой территории в 2011 и 2012 гг. уже проведен большой (свыше 25 км²) объем сейсморазведочных исследований. В то время как в ее восточной (то есть российской) части работы так и не начаты.

Хозяйственная деятельность по освоению нефтегазовых месторождений углеводородов арктического шельфа является сложной многоплановой проблемой, подвигающей на новую ступень развития задачи технического, технологического, экономического и экологического обеспечения морской нефтегазодобычи.

По существу, до настоящего времени ни одна из стран, компаний, добывающих нефть и газ на море, не сталкивались с условиями, сравнимыми с арктическим шельфом России.

Пилотным проектом освоения арктических шельфовых месторождений является нефтяное месторождение Приразломное, расположенное в Печорском море в 60 км от находящегося на берегу пос. Варандей.

Месторождение расположено на глубине моря 19–20 м. Специально для него на ОАО «ПО «Севмаш»» была изготовлена нефтедобывающая платформа «Приразломная», предназначенная для бурения скважин, добычи нефти, ее хранения и отгрузки. Платформа изготовлялась в течение 15 лет, в настоящее время установлена на грунте, однако еще не введена в эксплуатацию. Сроки введения неоднократно переносились. Последний срок запланирован на конец 2013 г.

Следующим шагом в освоении шельфовых арктических месторождений должен был стать проект ШГКМ. Планируемые объемы добычи ШГКМ составляют от 71 до 94, 6 млрд м³/год.

Общие запасы ШГКМ оцениваются в 3,9 трлн м³ газа по категории С1, конденсата — 53,3 млн т по категории С1 и С2.

В настоящее время проект освоения ШГКМ приостановлен и кооперация распалась.

Технологические разногласия между французским Total и Газпромом не единственные сложности в реализации проекта, запуск которого неоднократно переносился. Сроки инвестиционного решения постоянно сдвигались. Важным фактором явилось также отсутствие решения по налоговым льготам для проекта, а также разногласия по поводу цены и соотношений в поставках сжиженного природного газа и природного газа, транспортируемого по трубопроводам.

Выход иностранных акционеров из крупнейшего проекта ШГКМ делает неопределенным перспективу его реализации.

Существует мнение, что главная проблема ШГКМ — резко изменившаяся конъюнктура на глобальном рынке газа. Нельзя исключить также, что определенную роль в приостановлении проекта освоения ШГКМ сыграли экологические риски.

Опыт освоения Приразломного и Штокмановского месторождений, а также системный анализ проблем освоения других будущих арктических месторождений выявляет важную роль состояния их инфраструктурного обеспечения.

Огромная протяженность российского арктического шельфа, неразвитость большинства прилегающих береговых территорий и все то, что составляет инфраструктурное обеспечение морских нефтегазовых проектов, являются весьма важными и актуальными задачами. Очевидно, что без развитой инфраструктуры невозможна эффективная хозяйственная деятельность в Арктике. Поэтому данная задача должна рассматриваться также как одна из составляющих обеспечения национальной безопасности России в своей арктической зоне.

Создание на прибрежной территории технологических объектов, образующих взаимосвязанную технико-технологическую и транспортную систему, обеспечивающих снабжение морских нефтегазодобывающих промыслов и вывоз добытой продукции, является необходимым условием реализации любого шельфового проекта.

Практическим, вполне оправдывающим себя способом инфраструктурного обеспечения морских нефтегазовых проектов является создание отдельных, достаточно самостоятельных береговых технологических баз с сопутствующими транспортными системами и вспомогательными объектами, ориентированными на разработку и эксплуатацию конкретного морского месторождения или группы месторождений.

Применительно к месторождениям западно-арктической части континентального шельфа для создания развитой инфраструктуры, способной обеспечить их эффективное функционирование, наиболее приемлемыми представляются следующие территории:

— Мурманская область — г. Мурманск и населенные пункты прибрежных районов;
— Архангельская область — г. Архангельск и Северодвинск, а также прилегающие к ним районы;

— Ненецкий автономный округ — г. Нарьян-Мар, населенные пункты Амдерма, Варандей, острова Вайгач, Колгуев, полуостров Канин;

— Ямало-Ненецкий автономный округ — пос. Ямбург, на полуострове Ямал населенные пункты Харасавэй, Бованенково;

— Архипелаг Новая Земля (Южный остров).

Достоинства Мурманской области как района, наиболее удобного для строительства обширной береговой инфраструктуры, достаточно очевидны.

Отечественные и зарубежные компании рассматривают Мурманскую область в качестве привлекательного региона для размещения инвестиций в разные направления его развития.

В долговременном процессе обеспечения морских нефтегазовых промыслов арктического шельфа Мурманская область может стать ключевым звеном в процессе освоения арктических месторождений.

Освоение месторождений Тимано-Печорской нефтяной провинции предопределило развитие пос. Варандей как береговой базы для перевалочных операций с нефтяной продукцией, транспортируемой с континентальных месторождений. В настоящее время Варандей представляет собой комплекс с отлаженной системой функционирования всех необходимых составляющих для своей деятельности, включая аэродром. Поэтому именно на использование и развитие существующего потенциала Варандея ориентируется ОАО «Газпром» при создании инфраструктуры для обеспечения морских промыслов Печорского моря.

Строительство и эксплуатацию технологических и инфраструктурных объектов на территории Ненецкого автономного округа, предназначенных для освоения морских месторождений, представляется целесообразным увязывать с освоением перспективных, но пока почти нетронутых месторождений на суше.

Портовый пункт Харасавэй, расположенный на западном побережье Ямала, рассматривается как место строительства объектов инфраструктуры, ориентированной на освоение одноименного месторождения.

Уникальные газовые месторождения Карского моря — Ленинградское и Русановское — также могут обеспечиваться инфраструктурным потенциалом Харасавэя.

Акватория Обской и Тазовской губ граничит с активно разрабатываемыми месторождениями Тазовского полуострова, в первую очередь Ябургским ГКМ. При обустройстве первоочередных месторождений акватории Обской и Тазовской губ — Северо-Каменномысского и Каменномысского морей — предусматривается существенное развитие действующей инфраструктуры Ямбурга, включая порт, комплексное использование ее для континентальных и морских месторождений.

В настоящее время Ямбург фактически является технологическим центром Ябургского нефтегазоносного района и обеспечен всеми видами транспорта. В Ямбурге расположена база ОАО «Газфлот».

Архипелаг Новая Земля в силу своего выгодного расположения относительно месторождений Баренцева и Карского морей является удобной территорией для размещения технологических комплексов инфраструктуры их освоения.

Два обстоятельства — близость к месторождениям и относительно благоприятные условия для мореплавания, позволяют рассматривать западное побережье архипелага как перспективное место для создания (развития) нового порта для перевалки нефти и сжиженного природного газа.

Теплое Нордкапское течение, проникая в акваторию Баренцева моря с юго-запада и омывая побережье Норвегии и Кольского полуострова, проходит параллельно южному побережью на расстоянии нескольких сотен километров от него и «упирается» в архипелаг Новая Земля. В результате зимой в Баренцевом море наблюдается уникальный ледовый режим — южная и северная

часть акватории скованы льдом, в то время как в центральной части моря проходит свободный ото льда коридор шириной 400–500 км, идущий с запада на восток от берегов Норвегии до Новой Земли.

На Новой Земле имеются аэродром «Рогачево», причальные сооружения, способные принимать суда и корабли ВМФ. В новоземельском центре Белужья губа имеется своя инфраструктура, ориентированная на обслуживание в основном интересов Министерства обороны.

Однако существующий потенциал может быть успешно развит и для обслуживания нефтегазовой отрасли в сочетании с интересами Военно-морского флота России.

Создание необходимой инфраструктуры может оказаться очень полезным при освоении ШГКМ, а также последующих проектов на шельфах Баренцева и Карского морей.

Во исполнение Указа Президента РФ от 7 мая 2013 г. № 603 ст. 1в Новая Земля в своем новом качестве может явиться опорным пунктом для усиления военно-морского присутствия России в Арктике, а также оказания экстренной помощи при возникновении на морских объектах и морских коммуникациях нештатных ситуаций.

Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время уже имеются, находятся в развитии или рассматриваются как потенциально возможные инфраструктурные объекты, необходимые для освоения шельфовых нефтегазовых месторождений западно-арктической российской зоны, которые в зависимости от конкретных условий носят общерегиональный или локальный характер.

Освоение арктических шельфовых углеводородных месторождений связано еще с одной проблемой первостепенной важности, а именно с обеспечением экологической безопасности.

Учитывая крайне высокую уязвимость арктической окружающей среды к различного рода негативным техногенным воздействиям, совершенно необходимо при освоении арктических нефтегазовых месторождений использовать такие технологии геологоразведки, опытного бурения и дальнейшей эксплуатации, которые полностью предотвращали бы всякого рода разливы нефти, конденсата, выбросов свободного газа и другие поступления, угрожающие сохранению стабильности арктической экосистемы.

По заявлению академика РАН Е. Велихова, если в условиях открытого моря при обширных проливах нефти все-таки 30 % ее можно собрать, то в ледовых условиях этот процент составляет ноль.

Поэтому нужны такие технологии, которые обеспечивали бы отсутствие подобных инцидентов. По заявлению академика, если допустить серьезный инцидент на арктическом шельфе, то этот будет катастрофа для промышленности гораздо серьезнее, чем Чернобыль для атомной промышленности, поскольку на этом закроется вообще вся возможность работать на арктическом шельфе.

Поэтому, учитывая эти возможные серьезные экологические последствия для обширных регионов, а по некоторым оценкам, и для всей планеты, а также последующий за этим международный резонанс, можно утверждать, что экологическое обеспечение разработок и эксплуатации арктических шельфовых месторождений нефти и газа приобретает характер еще одной составляющей национальной безопасности России в Арктике.

По мнению некоторых специалистов, почти для 90 % нефтегазоносных площадей арктических морей отсутствуют технологии добычи, обустройства и транспорта.

Нужны принципиально новые виды морских ледостойких платформ для разведочного и эксплуатационного бурения, рассчитанных на круглогодичную эксплуатацию и долговременную автономную работу.

Перспективной для Арктики считается полностью подводная технология бурения, обустройства месторождений и транспортировки углеводородов. Главная особенность бурения под водой состоит в том, что должна быть обеспечена замкнутая и закрытая циркуляция бурового раствора, предусмотрены способы компенсации горизонтальных и вертикальных перемещений платформ из-за ветра, течения или волн, возможность безопасного аварийного отсоединения от скважины.

Вполне очевидно, что разработка и освоение новых передовых технологий в общем процессе освоения арктических шельфовых углеводородных месторождений настоятельно требует создания государственной системы подготовки высококвалифицированных кадров в различных направлениях их профессиональной деятельности.

В заключение хотелось бы отметить, что Россия (СССР) знает примеры успешных гигантских нефтегазовых программ, экономическая целесообразность которых стала очевидной только с течением времени. В качестве примера можно привести опыт освоения Уренгоя, работающего бесперебойно уже около 30 лет. Однако Уренгой создавался силами всего государства, а не одной-двух крупных компаний. Поэтому в освоении шельфовых и континентальных арктических нефтегазовых месторождений объективно требуется усиление роли государства. По нашему мнению, в настоящее время весьма актуальным является предложение об определении статуса Арктической зоны Российской Федерации как особого объекта государственного управления.

Таким образом, разработка углеводородов в Арктике должна стать государственной программой. С арктическим шельфом связано будущее нефтегазодобычи России, и чем осмотрительнее государство подойдет сегодня к решению проблем национальной безопасности в Арктике, тем более благоприятная политико-экономическая обстановка ожидает Россию в будущем.

Список литературы

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) и обеспечения национальной безопасности до 2020 года: утв. Президентом Рос. Федерации в феврале 2013 г.
2. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу: утв. Президентом Рос. Федерации 18 сентября 2008 г. № 1969.
3. *Ивченко Б. П.* Обеспечение национальной безопасности при освоении минерально-сырьевой базы шельфовых месторождений Арктики / Б. П. Ивченко [и др.]. — СПб.: ИД «Петрополис», 2010. — 432 с.
4. О состоянии и проблемах законодательного обеспечения реализации основ государственной политики РФ в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу // Ежегод. докл. Экспертного совета по Арктике и Антарктике при Председателе Совета Федерации Федерального собрания РФ. — 2012.
5. *Апанасенко В. М.* Военная безопасность Арктики / В. М. Апанасенко // Защита и безопасность. — 2012. — № 2.
6. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2008 году / Центр «Минерал», ФГУНПП «Аэрогеопология. — М., 2011.
7. Российский шельф — проблемы и решения // X Междунар. конф. RAO/CIS Offshore 2011. — СПб., 2011.
8. *Кондаков В.* Для 90 % нефтегазоносных площадей Арктики отсутствуют технологии добычи / В. Кондаков // Коммерсантъ Наука. — 2011. — № 1.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.056.53

С. А. Рудакова,
аспирант,
СПИИРАН

КОНЦЕПЦИЯ ВЫБОРА МЕТРИК ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

THE INFORMATION SECURITY METRICS CHOICE CONCEPTION

Предлагается концепция выбора метрик для проведения аудита информационной безопасности, основанная на пошаговом разделении свойства «информационная безопасность». Концепция может быть применена на различных объектах информатизации водного транспорта.

The metrics choice conception for information security audit carrying out based on step-by-step separation of property “information security” is proposed. The conception can be applied in the different aqueous transport information objects.

Ключевые слова: информационная безопасность, аудит, оценка защищенности, метрики информационной безопасности.

Key words: information security, audit, safety assessment, information security metrics.

ИНФОРМАЦИОННУЮ безопасность нельзя рассматривать как готовый продукт, информационная безопасность — это состояние, обеспечиваемое непрерывным процессом защиты информации. Этот процесс может включать различные меры и средства, обеспечивающие информационную безопасность более или менее успешно, выбор мер и средств защиты информации критично важен для достижения информационной безопасности. Основой для такого выбора служат текущее состояние информационной безопасности, сформированное с помощью оцененных метрик информационной безопасности, и цели защиты информации, желаемые для достижения. Статья посвящена метрикам информационной безопасности.

Как правило, для оценки уровня информационной безопасности объекта информатизации используются уже готовые наборы метрик, заданные различными стандартами или составленные экспертами. Неполнота или избыточность такого набора непосредственно влияет на корректность оценки защищенности информации, а значит, и на стратегию развития информационной безопасности, и на выбор мер и средств обеспечения информационной безопасности, и в конечном счете на уровень информационной безопасности объекта информатизации. В связи с этим выбор метрик информационной безопасности — это один из наиболее значимых шагов процесса защиты информации.

Ниже приведены примеры стандартов, действующих на территории РФ в качестве обязательных или предоставляющих готовые наборы метрик информационной безопасности:

— требования о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах (утв. приказом ФСТЭК России от 11.02.13 № 17) [3];

— состав и содержание организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных (утв. приказом ФСТЭК России от 18.02.13 № 21) [4];

— обеспечение информационной безопасности организации банковской системы Российской Федерации. Методика оценки соответствия информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации требованиям СТО БР ИББС-1.0-20xx. Стандарт Банка России СТО БР ИББС-1.2-2010 [6];

— PSI DSS (Payment Card Industry Data Security Standard) [7];

— информационные технологии. Методы защиты. Системы менеджмента защиты информации. Требования. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006 [1].

Далее приведены примеры стандартов, предлагающих осуществлять выбор метрик информационной безопасности самостоятельно (набор метрик определяет эксперт, аудитор):

— базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных (утв. зам. директора ФСТЭК России 15.02.08) [5];

— информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент информационной безопасности. Измерения. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27004-2011 [2].

Также выбор метрик информационной безопасности осуществляется самостоятельно при оценке эффективности защиты информации или состояния информационной безопасности, не основанной на каких-либо общепринятых стандартах.

В связи с актуальностью вопроса выбора метрик информационной безопасности была разработана соответствующая концепция, описанная ниже.

Целью концепции является определение метрик для проведения аудита информационной безопасности, удовлетворяющих требованиям:

— набор метрик должен быть полным;

— набор метрик должен не иметь избыточностей.

Для достижения этих целей предлагается свойство «безопасность информации» (свойство верхнего уровня), которое необходимо оценить в ходе аудита, разделить на несколько более детализированных свойств (свойства нижнего уровня), соблюдая при этом ряд правил, представленных ниже (правила детализации свойств).

Каждое свойство нижнего уровня предлагается подвергать детализации по правилам детализации свойств (при этом детализируемое свойство становится свойством верхнего уровня) до тех пор, пока оно не будет отвечать требованиям, предъявляемым к метрикам информационной безопасности (представлены ниже).

Пример применения предложенной концепции приведен в конце статьи.

1. Правила детализации свойств

1.1. Правило необходимости свойств.

Должно соблюдаться условие: $L_i \subsetneq H$ при $i = 1, 2, \dots, n$,

где L_i — множество характеристик свойства нижнего уровня;

H — множество характеристик свойства верхнего уровня;

n — количество свойств нижнего уровня.

1.2. Правило достаточности свойств.

Должно соблюдаться условие: $\forall A \cap H = \emptyset$ при $A \cap L_i = \emptyset$; $i = 1, 2, \dots, n$,

где A — произвольное множество;

H — множество характеристик свойства верхнего уровня;

L_i — множество характеристик свойства нижнего уровня;

n — количество свойств нижнего уровня.

1.3. Правило уникальности свойств.

Должны соблюдаться условия:

1. $L_i \cap L_j = \emptyset$ при $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, n$; $i \neq j$.

2. $L_i \neq \emptyset$ при $i = 1, 2, \dots, n$,

где L_i, L_j — множества характеристик свойства нижнего уровня;

n — количество свойств нижнего уровня.

1.4. Правило количества свойств.

Количество свойств нижнего уровня должно быть минимальным, но не менее двух (предлагается использовать 2–5 свойств).

2. Требования к метрикам информационной безопасности

Для того чтобы свойство информации можно было отнести к метрикам информационной безопасности, оно должно отвечать требованиям, представленным в табл. 1.

Таблица 1

Требования к метрикам информационной безопасности

№ п/п	Требование	Пояснение
1	Конкретность	Метрика должна иметь непосредственное отношение к информационной безопасности
2	Измеримость	Должна существовать возможность однозначно количественно измерить метрику (например, по стоимости, или с помощью булевой алгебры)
3	Значимость	Изменение значения метрики должно означать изменение состояния информационной безопасности объекта информатизации

3. Пример применения концепции

На рис. 1 приведен пример применения описанной выше концепции для объекта информатизации.

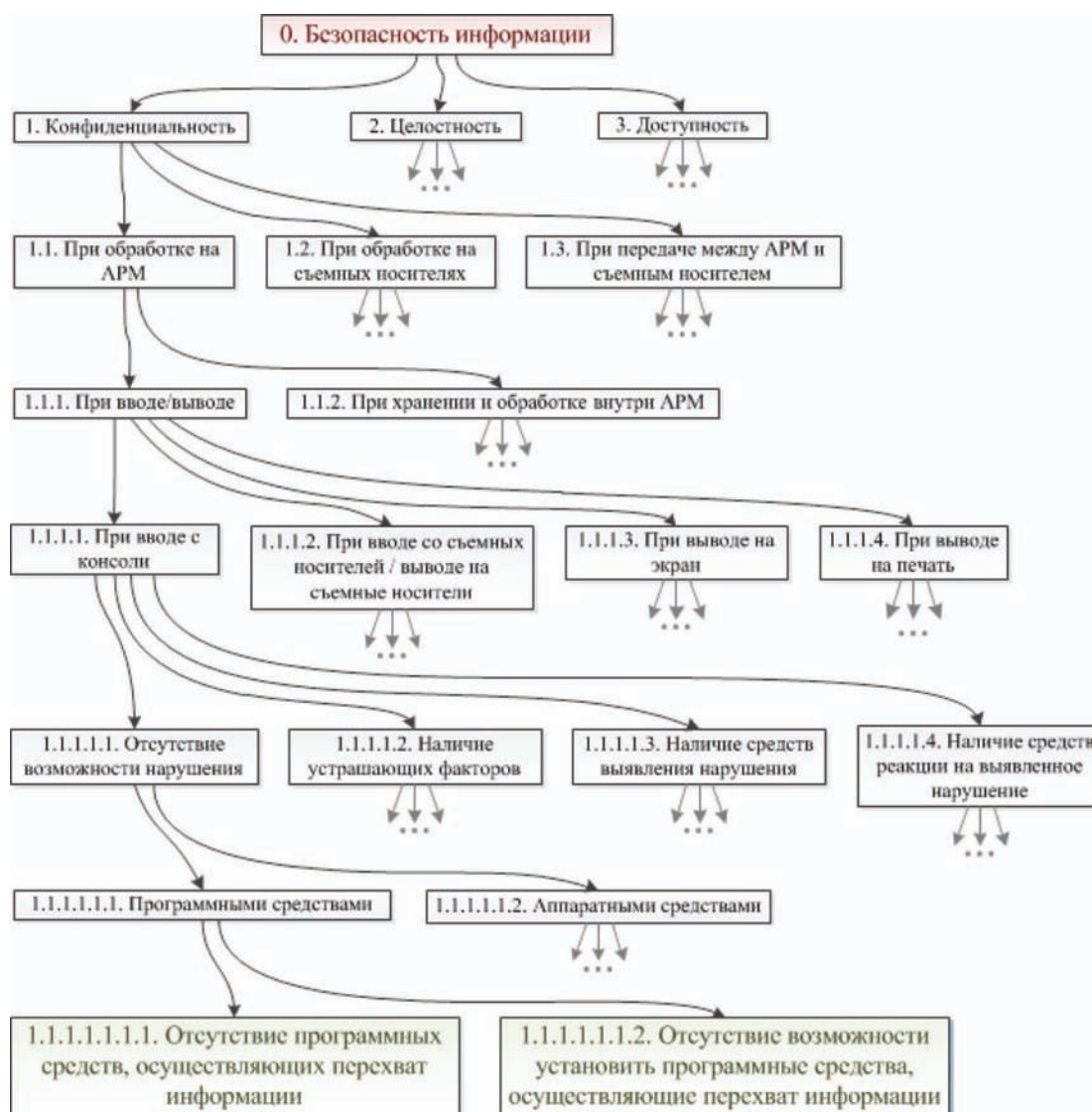


Рис. 1. Пример выбора метрик

Данный объект состоит из:

— двух автономных автоматизированных рабочих мест (АРМ) в защищенном исполнении, каждый из которых включает в свой состав принтер и съемные носители информации (USB-флеш-носители, оптические диски, бумага);

— информации, имеющей различные грифы секретности: «Несекретно», «Секретно», «Совершенно секретно»;

— выделенного помещения;

— персонала, осуществляющего обслуживание объекта информатизации.

При построении этого примера были приняты следующие общепринятые ограничения [8; 9]:

— безопасность информации обеспечивается ее конфиденциальностью, целостностью и доступностью;

— безопасность информации достигается отсутствием возможности нарушения, наличием устрашающих факторов, наличием средств выявления инцидентов и реагирования на выявленные инциденты.

Выводы

Предложенная концепция позволяет определить набор метрик информационной безопасности, который:

— лишен избыточностей за счет правила необходимости свойств;

— является полным (то есть отсутствуют неучтенные метрики) за счет правила достаточности свойств.

Предложенная концепция может найти применение на различных объектах информатизации водного транспорта:

— объектах информатизации, расположенных на суше и непосредственно на водном транспорте;

— типовых и специфических объектах информатизации, используемых для обслуживания водного транспорта;

— объектах информатизации, являющихся частью гражданского и военного, пассажирского и грузового водного транспорта.

Целями применения концепции на водном транспорте могут быть:

— обеспечение защиты открытой информации (например, на объектах информатизации, расположенных на суше и занимающихся гражданскими пассажирскими перевозками);

— обеспечение защиты государственной тайны (например, на военном водном транспорте);

— обеспечение защиты информации ограниченного доступа, не содержащей сведений, составляющих государственную тайну (например, защита коммерческой тайны при гражданских грузоперевозках).

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006. Информационные технологии. Методы защиты. Системы менеджмента защиты информации. Требования.

2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27004-2011. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент информационной безопасности. Измерения.

3. Об утверждении Требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах: приказ ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17.

4. Об утверждении состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных: приказ ФСТЭК России от 18 февраля 2013 г. № 21.

5. Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных: утв. зам. директора ФСТЭК России 15 февраля 2008 г.

6. СТО БР ИББС-1.2-2010.

7. www.pcidss.ru

8. ism3.wordpress.com

9. *Shon H.* CISSP All-in-one Exam Guide / H. Shon. — 2010.

КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ, ФОРУМЫ, ВЫСТАВКИ

УДК 556.53

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

Е. О. Ольховик,
канд. техн. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФОРУМ «ЭКОБАЛТИКА–2013»: НАТИСК МОЛОДЕЖНОЙ НАУЧНОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ МЫСЛИ

INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL FORUM «ECOBALTICA–2013»: THE ONSLAUGHT OF THE YOUTH SCIENTIFIC AND INNOVATION THOUGHT

Рассмотрены итоги проведенного научного молодежного форума «Экобалтика–2013», выявлены наиболее актуальные направления исследований: поиск альтернатив углеводородному топливу, проблемы сбора и переработки отходов, развитие автоматизированных систем непрерывного экологического мониторинга. Форум прошел при подавляющем участии молодых ученых.

The article discusses outcome of scientific youth forum “ECOBALTICA–2013”, identified the most pressing areas of research: search for alternatives to hydrocarbon fuels, problem of waste collection and recycling, development of automated systems for continuous environmental monitoring. Forum was an overwhelming participation of young scientists.

*Ключевые слова: экология, инновации, окружающая среда, мониторинг, газомоторное топливо.
Key words: ecology, innovation, environment, monitoring, gas fuel.*

2013 г. был объявлен Президентом Российской Федерации В. В. Путиным Годом охраны окружающей среды (Указ Президента РФ от 10.08.12 № 1157).

В рамках плана, утвержденного Правительством РФ (Распоряжение Правительства РФ от 26.11.12 № 2189-р), в течение 2013 г. запланировано проведение целого ряда мероприятий, в том числе и научно-практических конференций и форумов, посвященных экологическим проблемам.

6–7 декабря 2013 г. в Государственном университете морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова прошел X Международный молодежный научный экологический форум стран Балтийского региона «ЭКОБАЛТИКА–2013».

Форум «ЭКОБАЛТИКА» берет свое начало с 1996 г. и является tandemным мероприятием, поскольку проводится совместно с конференцией «ЭКО-ТЕХ» (Швеция). В этом году мероприятие было поддержано Российским фондом фундаментальных исследований (грант 13-08-06863мол_г), Российской и Санкт-Петербургской инженерными академиями, Региональным советом округа Кальмар, Шведским институтом, Шведской королевской академией инженерных наук, Университетом Линнея и АБ Густав Кахр (Швеция).

В этом году в рамках форума рассматривались следующие научные направления:

- управление и утилизация отходов;
- приборы и оборудование для экологического мониторинга;
- возобновляющиеся источники энергии и окружающая среда;
- экономико-правовые аспекты охраны окружающей среды и обеспечение экологической

безопасности;

— фундаментальные и прикладные исследования процессов загрязнения в различных средах;

— экологические проблемы при переходе на газомоторное топливо.

Пленарное заседание научной конференции открыл председатель организационного комитета, проректор по инновационной деятельности университета профессор С. Г. Чулкин, который пожелал молодым ученым найти новые направления для развития инновационных проектов и научных исследований, подчеркнув, что именно в молодом возрасте появляются такие идеи, которые могут значительно изменить современный мир, в том числе и в области экологических проблем, актуальность которых все больше возрастает.

У форума традиционно сильный состав программного комитета, возглавляемый доктором физико-математических наук, профессором СПбГПУ Василием Рудь, в который входят многие выдающиеся ученые из всех стран Балтийского региона. Международный директор форума «ЭКО-БАЛТИКА» профессор университета Линнея из Швеции Вильям Хогланд в своем обращении к участникам пожелал им плодотворной работы и выразил уверенность, что форум пройдет на традиционно высоком уровне.



Секцию основных научных докладов открыл молодой ученый из Московского физико-технического института Константин Сон, его доклад о микропузырьковой плазменной технологии очистки промышленных сточных вод был посвящен использованию электрического пробоя в барботированной воздухом загрязненной жидкости при высоких значениях газосодержания и размере дисперсной фазы менее миллиметра. Эта разработка уже успешно реализована учеными в виде коммерческого стартапа, в том числе и за рубежом (Южная Корея).

Профессор Вильям Хогланд выступил с докладом о необходимости более широкого применения отходов стеклянной промышленности в качестве вяжущих материалов и наполнителей для строительства, поделился практическим опытом технологий утилизации, реализованных им в различных странах мира.

В пленарном заседании прозвучали доклады не только авторитетных ученых, но и была предоставлена возможность выступить и научной молодежи, студентка Университета дружбы народов (РУДН) Виктория Косматова в своем докладе рассказала о необходимости проведения локального мониторинга экологической обстановки. По мнению автора, такой мониторинг помогает определить непосредственно источники вредных воздействий, токсичные вещества, проследить изменения в состоянии экосистемы, более оперативно реагировать на загрязнения и принимать меры по защите акватории. Среди выступающих были молодой ученый и кандидат наук Викто-

рия Васильева из Орловского государственного аграрного университета, Валентина Титоренко из Северо-Кавказского федерального университета и многие другие.

По окончании пленарного заседания прошли заседания тематических научных секций. В этом году впервые была сформирована новая секция, посвященная актуальной проблеме использования природного газа в качестве моторного топлива, которая собрала более 30 участников. К началу форума был издан сборник научных трудов (на английском языке) объемом 260 страниц.

В перерыве между заседаниями была организована секция стендовых докладов, на которой были представлены на всеобщее обозрение разработки и результаты исследований молодых экологов.

Все выступившие докладчики получили сертификаты участника Форума. Были определены лучшие докладчики Форума, среди которых — студенты МГПУ Анна Бобровская и Анастасия Глазкова, ученые Горного института Евгений Шмерович Баркан и Ольга Малюк, нигерийский аспирант из Саратовского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского Нгун Клемент Такон, кандидат наук из МФТИ Константин Сон, студентка Санкт-Петербургского политехнического университета Элина Непомнящая, студентка Университета Сатакунта прикладных наук (Финляндия) Анна Гулькова, которые получили дипломы за подписью ректора Университета профессора С. О. Барышникова. Всего в форуме приняли участие до 200 человек из 30 учебных и академических организаций России и зарубежных стран Балтийского региона.

Во второй день Форума прошел круглый стол на тему «Проблемы развития сотрудничества образовательных, научных и производственных организаций Балтийского региона, связанных с охраной окружающей среды». Незабываемым событием для всех участников стала экскурсия на всемирно известный парусник «Мир», которую провели сотрудники Университета.



Участники Форума нашли много новых друзей и коллег, познакомились с новыми научными результатами и инновационными решениями в области экологии. Следующий форум решено провести в Санкт-Петербурге весной 2014 г.

Научное периодическое издание

Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова

Выпуск 3 (22)

2013 год

Выпускающий редактор *Е. А. Монахова*

Дизайнер *С. В. Курбатов*

Технический редактор *М. Н. Евсютина*

Набор *О. Ю. Собянина*

Корректор *О. В. Миняева*

Подписано в печать с оригинал-макета 26.12.13. Формат 60х90/8
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 10,86. Тираж 500 экз. Заказ № 163

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7

Отпечатано в типографии ФГБОУ ВПО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
198035, Санкт-Петербург, Межевой канал, 2