

ВЕСТНИК

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

Выпуск 1 (23)

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.г.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, 2014. — Вып. 1. — 194 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.



СОДЕРЖАНИЕ

СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ 7

- Юдин Ю. И., Гарбаровский А. Б., Холичев С. Н.* Расчет радиальной диаграммы предельных значений скорости ветра для бурового судна «В. Шашин» 7
- Дерябин В. В.* Адаптивные алгоритмы фильтрации в задаче прогноза координат места судна 12
- Бурмака А. И.* Стратегия расхождения судов в ситуации чрезмерного сближения 20
- Обертюр К. Л.* Методика принятия решений при обеспечении непотопляемости судна в чрезвычайных ситуациях 23
- Некрасов С. Н., Ефимов К. И., Трененков Д. В.* Определение навигационных рисков при имитационном моделировании управления судном при проходе узкости 34

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА 37

- Егоров Л. Е.* Математические модели электронных регуляторов напряжения и частоты судовых генераторных агрегатов 37
- Слободянюк Д. И., Коллегаев М. А., Горюк А. А.* Экспериментальные изотермы расклинивающего давления в пленках цилиндрического масла судового дизеля 42

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ 49

- Копцева Е. П., Лазарев А. Н.* Краткая характеристика существующих методов оценки физического износа судов 49
- Гофман А. Д.* О возможностях проведения модельных испытаний в опытовых бассейнах ограниченных размеров 54
- Ташевский А. Г., Наумова А. К.* Математическое моделирование инновационных процессов в сложных технических системах применительно к задачам судостроения 59
- Петров В. М., Безпальчук С. Н., Васильев К. А.* Верификация возможности модернизации сложных судовых технических систем и технологических машин 64
- Горохов М. С.* Влияние параметров дисперсного армирования на трещиностойкость судовых конструкций из фибробетона 68
- Кукаленко Б. Д., Чулкин С. Г.* Графоаналитический метод определения максимально допустимого зазора в шинно-пневматической муфте 74
- Ломтева К. О.* Вычисление деформаций прямоугольной панели обшивки с ребром жесткости от действия поперечной нагрузки 77

МОРСКИЕ И ВНУТРЕННИЕ ВОДНЫЕ ПУТИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И ПОРТЫ 84

- Береславский Э. Н., Пестерев Е. В.* Математическое моделирование течений из котлованов и водохранилищ 84

ЛОГИСТИКА И ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 93

<i>Стальмаков В. А.</i> Параллельный генетический алгоритм для решения задачи составления расписания прохождения судов через шлюзованные системы и его верификация	93
<i>Чертков А. А., Загредин Д. А., Михайлов Ю. Б.</i> Модель нелинейной логистической системы автоматизации перегрузочного процесса	102
<i>Зубарев Ю. Я., Ловянников Д. С.</i> Вероятностная формализация процессов обработки контейнерных грузов с учетом ограничения на число судов в очереди	109
<i>Абрамова В. Н., Ботнарчук М. В.</i> Состояние и перспективы развития морского и внутреннего водного транспорта России	114
<i>Галин А. В.</i> Внутренние водные пути России как часть транспортной инфраструктуры страны	120
<i>Маликова Т. Е.</i> Двухфакторный рандомизированный эксперимент по изучению условий функционирования компенсационного пневморегулятора в штабеле труб ...	125
<i>Аблязов К. А., Козенкова Г. Л., Аблязов Э. К.</i> Использование метода Монте-Карло для анализа длины очереди и задержки железнодорожных вагонов и автомашин при перевалке навалочных грузов в морских терминалах (На примере ОАО «Новороссийский зерновой терминал»)	130

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ 137

<i>Попов А. А.</i> Экономические аспекты развития морских пунктов пропуска	137
<i>Бырбыткин А. А., Курошева Г. М.</i> Проблемы преодоления кризисных признаков в экономике транспортного комплекса	141
<i>Богданов А. Е.</i> К вопросу об оценке уровня конкурентоспособности создания и технического обслуживания морской техники в рыночных условиях	146
<i>Буянова Л. Н., Казьмина О. А.</i> Оценка влияния вступления России во Всемирную торговую организацию на развитие морского транспорта	151
<i>Палкина Е. С.</i> Проблемы реализации стратегии роста компаниями водного транспорта России	158

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 168

<i>Кузнецов В. Н.</i> Алгоритм выделения связанных областей при распознавании объектов	168
<i>Тырва В. О.</i> Применение математических моделей для коррекции дискретных сигналов управления объектов эргатической системы	171

МОРСКОЕ ПРАВО 179

<i>Бразовская Я. Е.</i> Международная унификация упрощения таможенно-тарифного регулирования при перевозке груза морским транспортом	179
--	-----

CONTENST

NAVIGATION AND SAFETY ON WATER TRANSPORT 7

<i>Udin U. I., Grabarovskiy A. B., Kholichev S. N.</i> Calculation radial diagram of limit values wind speed for the drilling vessel “V. Shashin”	7
<i>Deryabin V. V.</i> Adaptive filtering algorithms in vessel’s position prediction problem	12
<i>Burmaka A. I.</i> The strategy of maneuvering of ships in a situation of excessive proximity	20
<i>Obertyur K. L.</i> The methodology of decision-making to ensure the ship floodability in emergency situations	23
<i>Nekrasov S. N., Efimov K. I., Trenenkov D. V.</i> Navigational risks calculation when modeling of sailing through the narrows	34

SHIP POWER PLANTS, SYSTEMS AND EQUIPMENT37

<i>Egorov L. E.</i> Mathematical models of electronic voltage and frequency regulators of ships generators	37
<i>Slobodianiuk D. I., Kolegaev M. A., Goruik A. A.</i> Experimental isotherms of the disjoining pressure in the cylinder oil films of marine diesel engine	42

SHIPBUILDING AND SHIP REPAIR49

<i>Kopceva E. P., Lazarev A. N.</i> A brief review of existing methods for assessing the physical deterioration of vessels	49
<i>Gofman A. D.</i> Interpretation of a ship model tests results in towing tank with restricted size	54
<i>Tashevsky A. G., Naumov A. K.</i> Mathematical modeling of innovative processes in complex technical systems in relation to the problems of shipbuilding	59
<i>Petrov V. M., Bezpalchuk S. N., Vasilyev K. A.</i> Verification of modernizing complex ship’s technical systems and technological machines	64
<i>Gorokhov M. S.</i> Influence of parametres of continuous reinforcement on crack resistance of floating structures, made from fiber reinforced concrete	68
<i>Kukalenko B. D., Chulkin S. G.</i> Graph-analytical method of as much as possible admissible clearance in bus pneumatic muff	74
<i>Lomteva K. O.</i> Calculation of deformation of a rectangular panel cladding with stiffening rib on the action of the transverse load	77

MARINE AND INLAND WATERWAYS, PORTS AND WATERWORKS84

<i>Bereslavsky E. N., Pesterev E. V.</i> Mathematical modeling of flow through trenches and water reservoirs	84
--	----

LOGISTICS AND TRANSPORT TECHNOLOGIES93

<i>Stalmakov V. A.</i> Parallel genetic algorithm for solving scheduling passing through the gateways system and its verification	93
<i>Chertkov A. A., Zagredinov D. A., Mikhailov Y. B.</i> Model of nonlinear logistics system of automation of handling process	102

<i>Zubarev U. I., Lovyanikov D. S.</i> Probabilistic formalization of containerized cargo handling process considering limitation of vessels in the queue	109
<i>Abramova V. N. Botnariuc M. V.</i> State and prospects of development of sea and inland water transport in Russia	114
<i>Galin A. V.</i> Inland waterways of Russian Federation as part of country inland transport infrastructure	120
<i>Malikova T. E.</i> Rabdomized experiment of two factors in studying compensation pneumatic controller condition in a pipe laydown	125
<i>Abliazov K. A., Kozenkova G. L., Abliazov E. K.</i> The usage of Monte-Karlo method for an analysis of queuing lengths and delays of railway wagons and auto tracks by handling bulk cargoes in sea terminals (For example of JSC “Novorossiysk grain terminal”)	130
ECONOMICS, ORGANIZATION, MANAGEMENT, LANNING AND FORECASTING IN WATER TRANSPORT	137
<i>Popov A. A.</i> Economic aspects of marine border crossing point	137
<i>Byrbytkin A. A. Kurosheva G. M.</i> Analysis of the reasons for worsening the state of the transport complex of Russia	141
<i>Bogdanov A. E.</i> To the question to the assessment of level of competitiveness of creation and maintenance of sea equipment in market conditions	146
<i>Buyanova L. N., Kazmina O. A.</i> Assessment of influence of the entry of Russia in the World Trade Organization on development of sea transport	151
<i>Palkina E. S.</i> Problems of growth strategy implementation by russian waterway transport companies	158
INFORMATION TECHNOLOGY	168
<i>Kuznetsov V. N.</i> Search algorithm of connected regions for object detection	168
<i>Tyrva V. O.</i> Application of mathematical models for correction of discrete signals of management by object of ergatic system	171
LAW OF THE SEA	179
<i>Brazovskaya Y. E.</i> International unification of simplification of customs regulation in maritime transportation	179

СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

УДК 629.5.015.3:629.563.3

Ю. И. Юдин,
д-р техн. наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «МГТУ»;

А. Б. Грабаровский,
аспирант,
ФГБОУ ВПО «МГТУ»;

С. Н. Холичев,
аспирант,
ФГБОУ ВПО «МГТУ»

РАСЧЕТ РАДИАЛЬНОЙ ДИАГРАММЫ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ СКОРОСТИ ВЕТРА ДЛЯ БУРОВОГО СУДНА «В. ШАШИН»

CALCULATION RADIAL DIAGRAM OF LIMIT VALUES WIND SPEED FOR THE DRILLING VESSEL "V. SHASHIN"

В данной статье приведены результаты вычислений предельных значений скорости ветра для бурового судна «В. Шашин». Данные представлены в виде таблицы и диаграмм. Дополнительно представлена блок-схема алгоритма уравнивания усилий и определения упоров движителей, активированных при выполнении динамического позиционирования.

This article presents the results of calculations of the limit values of wind speed for drilling vessel "V. Shashin". Data are presented as table and diagrams. Additionally shows the block diagram of the adjustment effort and determination stops thrusters, activated when the dynamic positioning system.

Ключевые слова: системы динамического позиционирования, буровое судно, предельные значения скорости ветра.

Key words: dynamic positioning systems, drilling ship, limit values of wind speed.

Введение

Операции бурения в открытом море сопряжены с большими рисками. В точке бурения во время выполнения работ судно может смещаться на расстояние не более 2 % от глубины, также есть ограничение изменения курса. Поэтому в условиях ветра судно часто вынуждено прекращать бурение во избежание повреждения бура. В данной статье продемонстрирована методика расчета предельных значений скорости ветра для бурового судна «В. Шашин», которая позволит повысить безопасность процесса бурения и избежать простоя в условиях допустимых значений скорости ветра.

Методика расчета

Для расчета радиальной диаграммы предельных значений скорости ветра воспользуемся методикой последовательного выравнивания равновесного состояния бурового судна «В. Шашин», которая представлена в [1, с. 34–38]. В расчетах примем направление течения с носа судна, а скорость течения равной 1 м/с. Для каждого заданного направления ветра примем в качестве первоначальной скорость ветра, равную 30 м/с, снижая или увеличивая ее значение до выполнения условия по загруженности движителей в пределах от 80 до 95 %, при котором функционирование системы динамического позиционирования безопасно. Достоинство предложенной методики в том, что такие процедуры можно легко алгоритмизировать и проводить в любой вычислительной

среде, вплоть до Excel. В данном случае вычислительные процедуры выполнены в среде MathCad, которая предоставляет широкие возможности, в частности матричных вычислений (табл. 1).

Таблица 1 построена по результатам вычислений тяги движителей и средств активного управления (САУ) T_e , в кН, и части мощности N , расходуемой на их работу, в %.

Таблица 1

Изменение параметров движителей от скорости и направления ветра

Ветер 0°, скорость 42,5 м/с				
№ движителя или САУ	1	3	5	7
T_e , кН	434	-15	-17	32
N , %	96	2,5	3	8
Ветер 10° правый борт (П/Б), скорость 42 м/с				
T_e , кН	412	94	108	46
N , %	85	39	49	14
Ветер 20° П/Б, скорость 32 м/с				
T_e , кН	297	137	159	-69
N , %	47	69	86	25
Ветер 30° П/Б, скорость 26 м/с				
T_e , кН	237	147	170	-57
N , %	32	76	95	18
Ветер 40° П/Б, скорость 23,5 м/с				
T_e , кН	211	144	157	-47
N , %	27	74	92	14
Ветер 50° П/Б, скорость 22,5 м/с				
T_e , кН	187	148	171	-37
N , %	23	77	96	10
Ветер 60° П/Б, скорость 22 м/с				
T_e , кН	163	146	169	-23
N , %	18	76	94	5
Ветер 70° П/Б, скорость 22,5 м/с				
T_e , кН	134	148	171	-13
N , %	14	77	96	2
Ветер 80° П/Б, скорость 23 м/с				
T_e , кН	133	147	171	5
N , %	14	77	96	0,5
Ветер 90° П/Б, скорость 23,5 м/с				
T_e , кН	139	149	172	23
N , %	15	78	97	5

Табличные результаты приведены до траверсного угла (90°), а радиальная диаграмма, показанная на рис. 1, дает наглядное представление о предельных значениях скорости ветра с любых направлений.

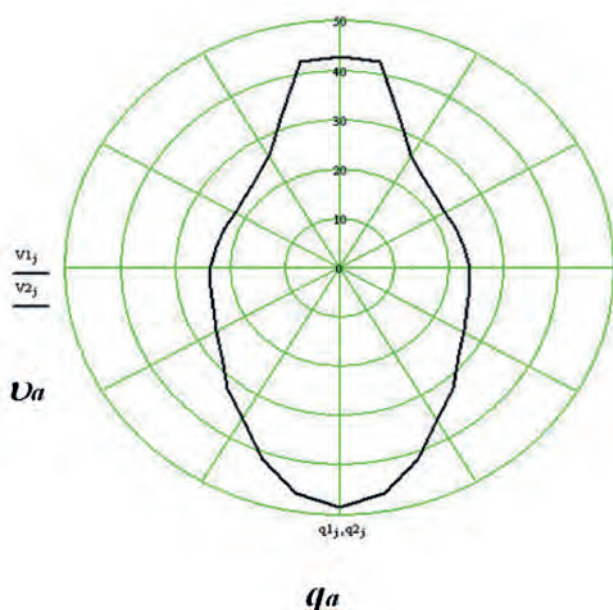


Рис. 1. Радиальная диаграмма предельных скоростей ветра, м/с (течение с носа 1 м/с)

Радиальная диаграмма имеет симметричную форму относительно диаметральной плоскости судна. Симметрия радиальной диаграммы сохраняется при действии ветров с левого борта, если компенсацию продольной силы от действия течения выполнять движителем 2, а не движителем 1 (рис. 2).

Расчет уравнивающих усилий происходит в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 3. Автоматизированный в среде MathCad, он позволяет быстро и эффективно определять необходимые для равновесия упоры движителей. При этом обеспечивается критерий безопасности функционирования системы динамического позиционирования — нагрузки движителей согласно алгоритму остаются в пределах от 80 до 95 %. Хотя эти пределы можно и изменять, например для нахождения значений предельных скоростей ветра для условий работы движителей в аварийных режимах.



Рис. 2. Схема расположения движителей бурового судна «В. Шашин»

Блок-схема, представленная на рис. 3, отражает выполнение вычислений по нахождению упоров на выбранной группе активизированных движителей, необходимых для компенсации суммарного воздействия на судно продольной и поперечной составляющих гидро- и аэродинамической сил и их моментов, а также дополнительных моментов, создаваемых работой подруливающих устройств. Полученные результаты сравниваются с заданными пользователем параметрами уровня загрузки движителей и, в зависимости от попадания в диапазон значений перегруженности или, наоборот, недозагруженности, происходит отработка по увеличению или уменьшению значения скорости ветра на 0,5 м/с. На основании полученных данных строится радиальная диаграмма предельных значений скорости ветра для данного судна с любых курсовых углов.

На рис. 4 представлена радиальная диаграмма для группы активизированных движителей 1, 3, 5, 7. Выбранная совокупность задействованных подруливающих устройств с точки зрения безопасности хороша тем, что оставляет в резерве движители 2, 4, 6. Это значительно повышает надежность функционирования всей системы, позволяя заменять движители дублирующими (в случае их выхода из строя), так как для каждого вида движителя есть свой резервный.

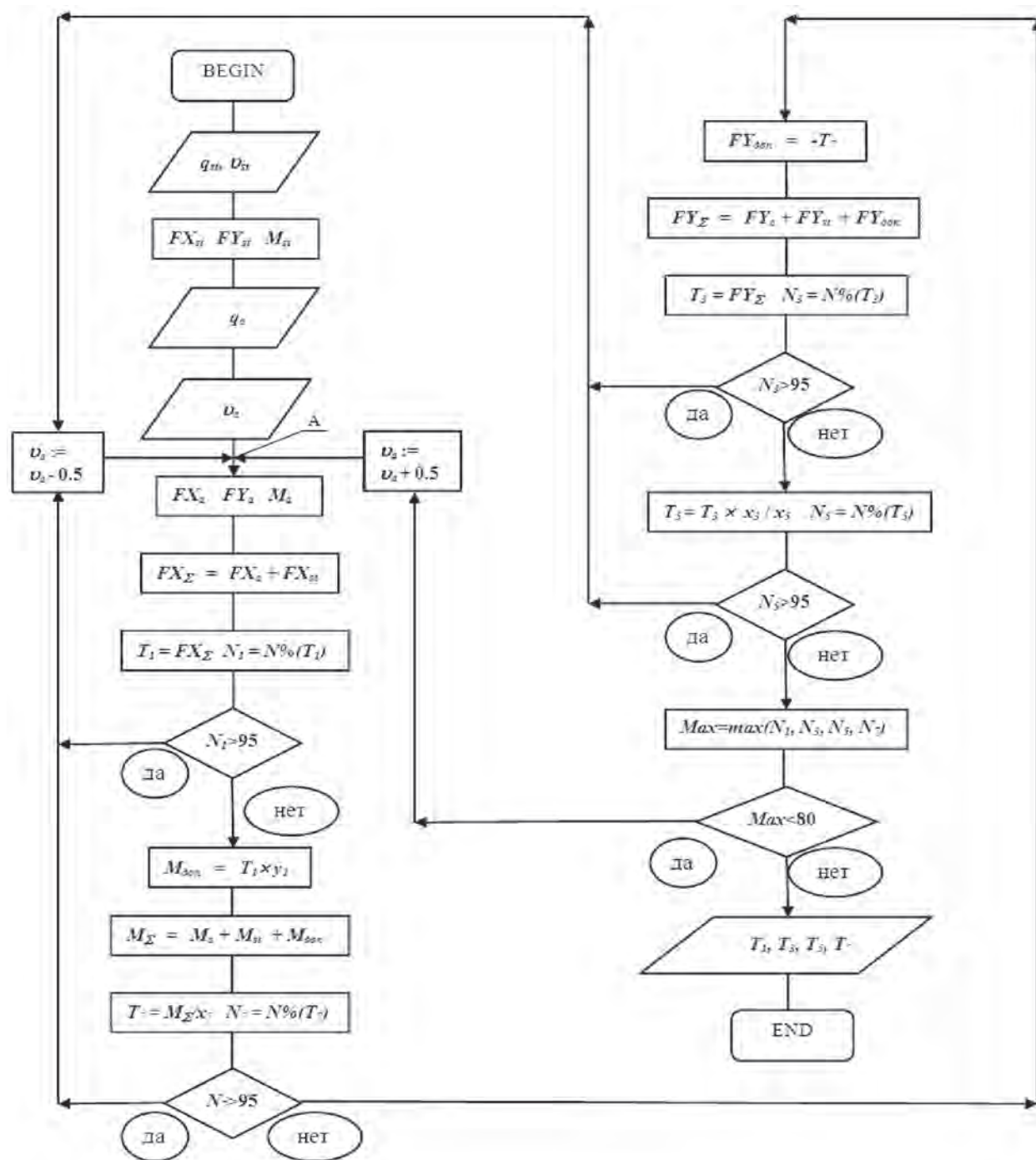


Рис. 3. Блок-схема алгоритма уравнивания усилий и определения упоров движителей, активированных при выполнении динамического позиционирования:

q_{st}, v_{st} — направление и скорость течения;

FX_{st}, FY_{st}, M_{st} — составляющие гидродинамической силы и ее момент;

q_a, v_a — направление и скорость ветра;

FX_a, FY_a, M_a — составляющие аэродинамической силы и ее момент;

FX_{Σ} — суммарная продольная сила; T_e — упоры движителей;

N — степень загрузки движителя; $M_{доп}$ — дополнительный момент от упора движителя;

M_{Σ} — суммарный момент вращения с учетом дополнительного момента;

$FY_{доп}$ — дополнительная поперечная сила от упора движителя;

FY_{Σ} — суммарная поперечная сила

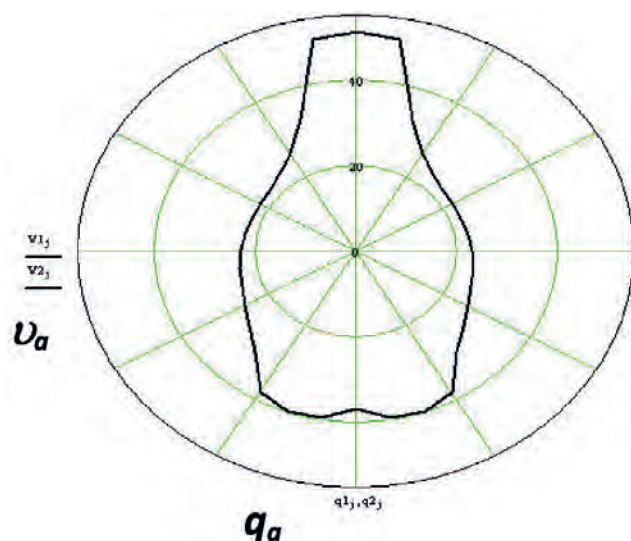


Рис. 4. Радialная диаграмма предельных скоростей ветра, м/с (течение отсутствует)

Используя разработанный алгоритм, мы имеем возможность построить диаграмму предельных скоростей ветра для судна при использовании всех имеющихся в наличии подруливающих устройств (ПУ). Для этого на этапе выбора упоров T_3 и T_5 можно было распределить их нагрузки между двумя двигателями, которые пока были резервными. А именно: упор T_3 распределить между ПУ 3 и ПУ 4, а упор T_5 распределить между ПУ 5 и ПУ 6. Результаты вычислений представлены на рис. 4 в виде радialной диаграммы предельных скоростей ветра каждого направления (влияние течения не учитывалось).

Способ, когда задействованы все имеющиеся ПУ, характеризуется отсутствием резервирования с соответствующим понижением степени надежности системы.

В этом случае система будет сохранять равновесие и не нарушать критерий безопасности при скорости ветра около 30 м/с, но в случае порыва ветра, например до скорости 35 м/с, может не выдержать равновесия и перейти в состояние, близкое к критическому, — ведь дополнительных движительных средств уже нет. Режим задействования всех двигателей можно рекомендовать только в ситуациях кратковременного использования, по окончании которых переходить снова на схему с резервированием.

Выводы

Работа систем динамического позиционирования специфична и не всегда прозрачна для судоводителя, так как является для него в значительной степени «черным ящиком». Техническая документация обычно содержит ограниченную информацию в виде радialных диаграмм скоростей ветра, при которых возможно удержание судна на точке с помощью различных групп активизированных двигателей, однако методика расчета этих диаграмм скрыта от оператора. Алгоритмы вычисления зашиты внутри программного обеспечения систем динамического позиционирования и не доступны в открытой печати, являясь коммерческой тайной.

Приведенные в настоящей работе результаты вычислений, представленные в виде таблицы и диаграмм, дают наглядное представление о предельных значениях скорости ветра с любых направлений для бурового судна «В. Шашин». Они могут быть применены в реальных судовых условиях или в рамках учебных занятий при подготовке судоводителей и позволяют повысить безопасность процесса бурения и избежать простоя в условиях допустимых значений скорости ветра. Научная новизна заключается в том, что разработанная методика уравнивания усилий и определения упоров двигателей, активированных при выполнении динамического позиционирования, может быть применена к любым буровым судам с целью оптимизации процесса бурения и повышения его безопасности. Кроме того, результаты наших исследований могут применяться при создании электронных тренажеров, отрабатывающих выполнение задачи по удержанию судна на точке.

Список литературы

1. Юдин Ю. И. Выравнивание позиционного равновесия бурового судна «В. Шашин» / Ю. И. Юдин, А. Б. Грабаровский // Эксплуатация морского транспорта. — 2013. — № 2 (72).

АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ ФИЛЬТРАЦИИ В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗА КООРДИНАТ МЕСТА СУДНА

ADAPTIVE FILTERING ALGORITHMS IN VESSEL'S POSITION PREDICTION PROBLEM

В настоящей статье рассматривается построение навигационных фильтров на основе нейронной сети, а также нейронечеткой системы. Фильтры решают задачу уменьшения погрешностей в координатах судна. Выполнено сравнение эффективности работы данных алгоритмов между собой, а также с оптимальным фильтром Калмана в условиях погрешностей, имеющих различные функции распределения. Также рассматривался случай, когда ошибки координат имеют корреляцию во времени. Результаты экспериментов позволяют сделать вывод о зависимости качества работы того или иного фильтра от характера распределения случайных погрешностей.

In the article the construction of navigational filters on the basis of neural network and neuro-fuzzy system is considered. These filters solve the problem of coordinates' errors reduction. Intercomparison of the efficiency of filtering algorithms has been performed, and comparing with Kalman filter so, when errors have different cumulative density functions. The case of errors time correlation was considered so. The results of experiments let us resume, that quality of a filter work depends on statistical characteristics of errors as random functions.

Ключевые слова: адаптивная фильтрация, нейронная сеть, нейронечеткая система логического вывода.

Key words: adaptive filtering, neural network, neuro-fuzzy inference system.

КООРДИНАТЫ судна, полученные при помощи судовых навигационных систем, всегда будут содержать определенные погрешности, связанные в первую очередь с ошибками измерений исходных величин: ускорений в случае инерциальной системы, курса и скорости, расстояний до спутников в случае спутниковой системы. Погрешности координат ухудшают качество управления судном, если используются регуляторы, стабилизирующие судно на заданной траектории. Случайная составляющая данных ошибок нередко приводит к увеличению количества переключений руля, не связанных с истинным перемещением судна. Систематическая составляющая может привести к отклонению судна с заданной траектории. Для уменьшения влияния случайных ошибок в современных навигационных системах используют различные алгоритмы фильтрации этих погрешностей [1; 7; 9].

Любой алгоритм фильтрации использует информацию о свойствах случайного процесса. Если эта информация предполагается известной *a priori* в виде корреляционной функции, то фильтр считается неадаптивным. Если же алгоритм использует информацию о случайном процессе только по виду его реализаций, то фильтр является адаптивным.

Фильтры могут быть построены как на основе теории вероятностей (линейный фильтр, фильтр Калмана и др.), так и вне этой теории. К последним относятся, например, фильтры, построенные на основе нейронных сетей [10], и фильтры, построенные на базе нейронечетких моделей [11, р. 621–631].

Алгоритмы фильтрации ошибок навигационных параметров динамических объектов можно разделить на две группы. К первой относятся алгоритмы, не учитывающие динамику объекта и использующие для своей работы только информацию о свойствах случайной последовательности. Алгоритмы второй группы строятся с учетом динамики рассматриваемого объекта [8].

В настоящей статье приводятся результаты исследования работы различных алгоритмов фильтрации ошибок координат места судна, не учитывающих динамические (дифференциальные) уравнения его движения в явном виде.

Задача фильтрации Калмана формулируется в общем виде следующим образом [1; 2, с. 18–28; 13]. Пусть имеется изменяющийся во времени вектор случайного процесса X , значения которого связаны между собой уравнением состояний:

$$X(n+1) = A \cdot X(n) + V(n), \quad (1)$$

где n — текущий момент времени, A — матрица перехода, V — случайный вектор (шум процесса), имеющий нормальное распределение. Вектор состояния $X = (x, y, \dot{x}, \dot{y}, \ddot{x}, \ddot{y})^T$ имеет своими компонентами координаты судна x, y , а также составляющие скорости и ускорения. Если дискретность модели принять за dt , то уравнения движения (кинематические) судна и матрица перехода имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} x(n+1) &= x(n) + dt \cdot \dot{x}(n), \\ y(n+1) &= y(n) + dt \cdot \dot{y}(n), \\ \dot{x}(n+1) &= \dot{x}(n) + dt \cdot \ddot{x}(n), \\ \dot{y}(n+1) &= \dot{y}(n) + dt \cdot \ddot{y}(n). \end{aligned} \quad A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & dt & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & dt & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & dt & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & dt \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Для наблюдения доступен процесс Y , связанный с вектором состояния X уравнением измерений:

$$Y(n) = H(n) \cdot X(n) + W(n), \quad (3)$$

где $H(n)$ — матрица наблюдения, $W(n)$ — случайный вектор (шум наблюдения), который имеет распределение Гаусса. При построении фильтра, прогнозирующего только оценки координат места судна $\hat{x}, \hat{y}$, матрица наблюдения имеет следующий вид:

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Алгоритм прогноза координат места судна может быть представлен следующим образом [12]. На каждом временном шаге n вычисляются приближенные значения вектора состояния и корреляционной матрицы с использованием значений этих величин, полученных на предыдущем шаге:

$$\begin{aligned} \tilde{X}(n) &= A \cdot \hat{X}(n-1), \\ \tilde{P}(n) &= A \cdot \hat{P}(n-1) \cdot A^T + Q, \end{aligned} \quad (4)$$

где P — корреляционная матрица, Q — вспомогательная диагональная единичная матрица размерностью 6. Начальное значение вектора состояния $\hat{X}(0)$ известно, а корреляционная матрица $\hat{P}(0)$ в первоначальный момент времени принимается нулевой.

После этого вычисляется коэффициент усиления K :

$$\begin{aligned} S &= A \cdot \tilde{P}(n) \cdot A^T + R, \\ B &= A \cdot \tilde{P}(n)^T, \\ K &= (S^{-1} \cdot B)^T, \end{aligned} \quad (5)$$

где R — вспомогательная диагональная матрица размерностью 2. Диагональные элементы принимают значения, равные 1000.

Затем вычисляются прогнозируемые значения вектора состояния и корреляционной матрицы:

$$\begin{aligned}\hat{X}(n) &= \tilde{X}(n) + K \cdot [(x(n), y(n))^T - H \cdot \tilde{X}(n)], \\ \hat{P}(n) &= \tilde{P}(n) - K \cdot H \cdot \tilde{P}(n).\end{aligned}\quad (6)$$

Прогнозируемые значения координат в текущий момент времени n находятся таким образом:

$$(\hat{x}, \hat{y})^T = H \cdot \hat{X}(n). \quad (7)$$

При построении моделей адаптивной фильтрации на основе нейронных и нейронечетких сетей приходится использовать алгоритм, состоящий из следующих этапов:

- выбор архитектуры системы;
- выбор параметров модели;
- выбор алгоритма обучения и его количественных параметров;
- выбор методики проверки работоспособности системы;

На первом этапе определяется общий вид модели. Принимаются во внимание следующие моменты: будет ли сеть динамической либо статической, будет ли она иметь обратные связи или нет, будет ли использоваться уже известный тип сети или системы нечеткого вывода и т. д.

На втором этапе следует определиться с выбором параметров системы. К ним относятся: число слоев и нейронов, число единичных задержек, число и тип функций принадлежности и активации, тип правил нечетких продукций и т. д.

Алгоритм обучения во многом определяется архитектурой системы и выбранными значениями ее параметров. К параметрам обучения относятся число образцов, шаг, число эпох, наибольшее значение функции стоимости и др.

На последнем этапе синтеза модели происходит проверка ее работоспособности на основе имитационного моделирования. Выбирается модель ошибок навигационных параметров. Рассмотреть все возможные навигационные ситуации невозможно, поэтому приходится ограничиваться некоторыми «типичными» случаями из диапазона возможных значений.

Рассмотрим сначала создание нейросетевого фильтра. Начнем 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 [10], 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 текущее значение координаты. Выход — координату 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.

Процесс обучения построим следующим образом. Накапливается множество образцов на интервале наблюдения, после чего сеть обучается на данных образцах. Несмотря на то что некоторые исследования в области нейронных сетей [4; 10] позволили дать рекомендации относительно выбора числа образцов, необходимых для обучения сетей, мы ограничились их числом, равным 100. Увеличение числа образцов не только может повысить точность сети, но и увеличить время обучения. Так как в дальнейшем предполагается использование алгоритма в режиме реального времени, то время обучения имеет существенное значение. Кроме того, увеличение числа образцов может привести к тому, что сеть будет обучаться на «устаревших» данных, так как характер движения судна может существенно измениться, что, в свою очередь, приведет к уменьшению точности прогноза.

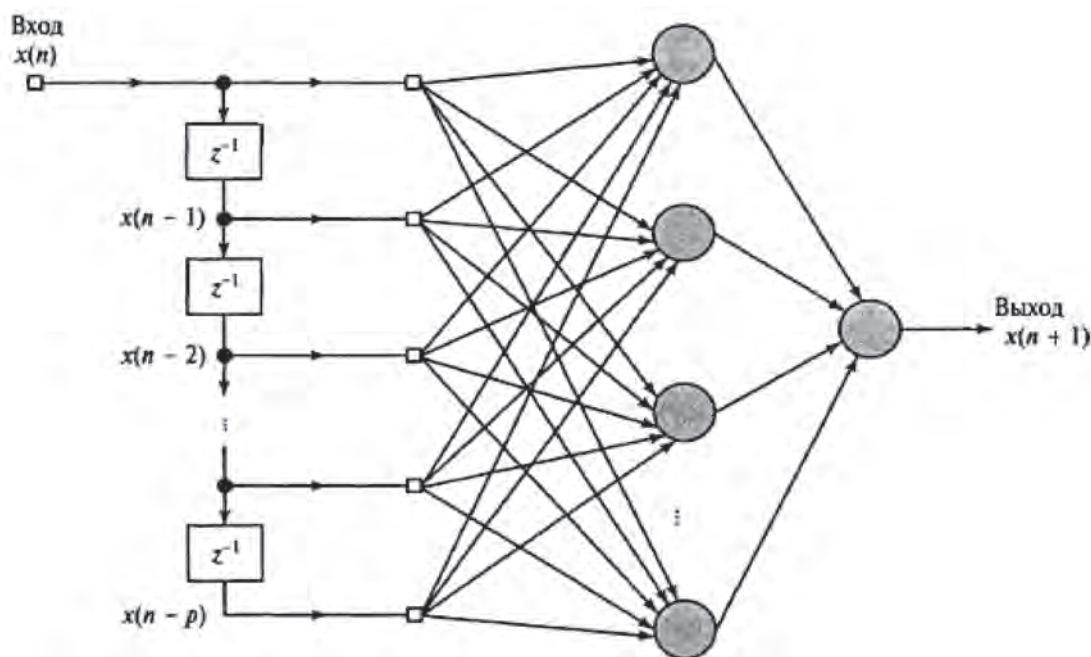


Рис. 1. Общий вид нейронной сети

В качестве алгоритма обучения выбирается способ регуляризации Байеса в комбинации с методом Левенберга–Марквардта.

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 x места судна в локальной системе координат, а другая — ординату y , причем обучаются и работают сети независимо друг от друга.

Для реализации нейронечеткого навигационного фильтра используется гибридная система нечеткого вывода ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) [5]. Данная модель построена по алгоритму Сугено. Подобные системы широко используются для решения задач адаптивной фильтрации. Например, в [11, р. 621–631] предлагается подобная модель для уменьшения шума измерений дыхательных сигналов. При ее реализации предполагается, что помеха формируется из некоторого исходного сигнала, проходящего через нелинейную систему. Причем считается, что этот самый исходный сигнал (источник шума) известен и может быть измерен с высокой точностью.

В задаче прогноза координат места судна подобный исходный сигнал, как правило, неизвестен, а вся информация об их погрешностях содержится только в измеряемых временных выборках. Поэтому на вход ANFIS подаются задержанные значения координаты, а на выходе получается ее значение в текущий момент времени. Число единичных задержек выбрано равным трем. Теперь необходимо выбрать вид функций принадлежности. Для входных сигналов используются трапецевидные функции принадлежности в количестве по 2 функции для каждого входа. Для выходного сигнала используется линейная функция принадлежности. Общий вид нейронечеткой модели представлен на рис. 2.

Для обучения нечеткой нейронной сети был выбран гибридный алгоритм обучения, который представляет собой комбинацию метода наименьших квадратов и метода убывания обратного градиента [5]. Число эпох составляет 500. Желаемое значение функции стоимости выбрано равным 0. Первоначальное значение шага обучения — 0,1. Значения коэффициентов, уменьшающих и увеличивающих шаг, равны 0,9 и 1,1 соответственно.

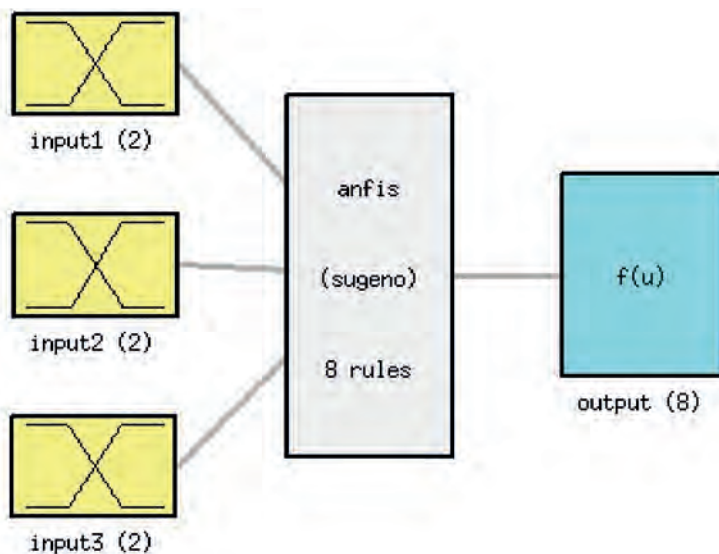


Рис. 2. Общий вид нейронечеткой модели

Используются две нейронечеткие системы, одна из которых прогнозирует абсциссу, а другая — ординату центра тяжести судна.

Чтобы сравнить рассмотренные выше алгоритмы фильтрации, необходимо иметь модель движения судна, а также модель погрешностей координат.

В статье [3, 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 построенных нейронной сети и нейронечеткой системы. В качестве параметров модели выберем параметры т/х «Инженер Плавинский» [3], массовое водоизмещение которого приблизительно составляет 14 000 т.

Для использования модели 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.

Рассмотрим теперь модель случайных погрешностей координат. Средняя квадратическая погрешность предполагается равной 10 м. При помощи генераторов псевдослучайных чисел получаются некоррелированные временные выборки ошибок координат. Рассматривались случаи следующих распределений: нормального, равномерного, логнормального, Рэлея и экспоненциального. Также были рассмотрены случаи, когда ошибки координат коррелированы во времени и имеют распределение Гаусса, а интервал корреляции составляет 5 с. Для получения реализаций нормального случайного процесса с заданной корреляционной матрицей используется метод скользящего суммирования [6]. Были получены три таких последовательности, имеющие различные корреляционные матрицы.

Качество работы навигационного фильтра можно характеризовать следующими параметрами. Одним из них служит *наибольшее* значение модуля невязки фильтра на интервале прогноза $\max [c(t)]$. Другим параметром является *среднее* значение модуля невязки на интервале прогноза $\text{mean} [c(t)]$. Если фильтр используется в составе некоторой системы управления, то желательно, чтобы его выход имел определенную степень предсказуемости. Иными словами, можно рассматривать еще один показатель работы фильтра — *энтропию* $H[c(t)]$ невязки на интервале наблюдения.

Сравнение алгоритмов фильтрации производилось в среде MATLAB 7.12.0. Время учета фильтрами предыдущих значений координат было выбрано равным 100 с. На 15-минутном интервале времени 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 уз. На основе этих данных рассчитывалась истинная траектория движения судна. Затем моделировались случайные ошибки координат, которые прибавлялись к истинным координатам. — получались «измеренные» значения координат. Последние подавались на вход трех рассмотренных выше фильтров, которые имели на выходе «прогнозируемые» координаты. Получались «прогнозируемые» фильтром траектории движения. Рассчитывались невязки этих траекторий по отношению к истинной траектории. Результаты сравнения работы фильтров по среднему значению модуля невязки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты сравнения фильтров по среднему значению модуля невязки

	Среднее значение модуля невязки на интервале прогноза (15 мин)						
	Исходное, м	После фильтрации, м			Уменьшение, %		
		ФК	НС	ННС	ФК	НС	ННС
Нормальное	13.0	8.5	8.4	9.4	34.6	35.4	27.7
Равномерное	13.4	8.5	8.1	9.4	36.6	39.6	29.9
Логнормальное	10.0	7.3	7.3	7.6	27.0	27.0	24.0
Рэлея	12.1	8.1	8.0	8.8	33.1	33.9	27.3
Экспоненциальное	11.3	7.5	7.4	8.0	33.6	34.5	29.2
Нормальное корр. 1	14.6	12.7	13.1	13.5	12.7	10.4	7.4
Нормальное корр. 2	14.1	11.6	13.1	13.1	18.1	7.0	6.9
Нормальное корр. 3	14.3	14.6	14.4	14.8	-2.3	-1.2	-4.1

Как видно из табл. 1, в случае некоррелированных погрешностей наилучшие результаты фильтрации наблюдаются для нейросетевого фильтра. Если величины коррелированы, то предпочтение невозможно отдать какому-либо алгоритму. В одном из вариантов моделирования наблюдается ситуация незначительного увеличения среднего значения модуля невязки.

В табл. 2 приведены результаты сравнения алгоритмов по наибольшему значению модуля невязки на интервале наблюдения.

Таблица 2

Результаты сравнения фильтров по максимальному значению модуля невязки

	Наибольшее значение модуля невязки на интервале прогноза (15 мин)						
	Исходное, м	После фильтрации, м			Уменьшение, %		
		ФК	НС	ННС	ФК	НС	ННС
Нормальное	43.9	25.7	27.8	29.9	41.4	36.6	31.9
Равномерное	23.5	21.1	20.5	24.6	9.9	12.7	-5
Логнормальное	81.9	39.1	52.8	30.2	52.2	35.6	63.2
Рэлея	43.1	29.1	21.8	26.1	32.4	49.5	39.3
Экспоненциальное	54.2	34.7	32.3	36.1	36.0	40.5	33.4
Нормальное корр. 1	42.9	37.5	37.0	39.2	12.5	13.9	8.5
Нормальное корр. 2	46.7	34.5	42.4	45.2	26.2	9.3	3.3
Нормальное корр. 3	43.5	42.3	41.4	44.9	2.9	5.0	-2.9

Из данных табл. 2 следует, что нейронечеткий фильтр в двух случаях не уменьшил максимум невязки. Фильтр Калмана и нейронный фильтры во всех случаях уменьшали наибольшее значение модуля невязки, но предпочтения какому-либо алгоритму отдавать не приходится.

В табл. 3 приведены результаты сравнения фильтров по значению энтропии на интервале прогноза. Фильтрация, как правило, приводила к уменьшению энтропии. Однако, как видно из табл. 3, наблюдались и обратные ситуации.

Теперь составим «рейтинг» рассматриваемых фильтров с учетом рассмотренных выше трех показателей. Показатели имеют различную значимость. Так, например, наибольшее значение модуля невязки есть более «сильный» критерий по отношению к ее среднему значению и энтропии. В свою очередь среднее значение модуля невязки — более значимый по отношению к ее энтропии критерий. Результаты сравнения алгоритмов фильтрации приводятся в табл. 4. В ней помещены относительные оценки критериев, принимающие значения 1, 2, 3. Цифра 1 соответствует наилучшему значению критерия, а цифра 3 — наихудшему.

Таблица 3

Результаты сравнения фильтров по значению энтропии модуля невязки

	Энтропия модуля невязки на интервале прогноза (15 мин)						
	Исходное, м	После фильтрации, м			Уменьшение, %		
		ФК	НС	ННС	ФК	НС	ННС
Нормальное	1.4182	1.2363	1.2236	1.2744	12.8	13.7	10.2
Равномерное	1.2928	1.2145	1.2033	1.2542	6.1	6.9	3.0
Логнормальное	1.3878	1.2200	1.1903	1.1836	12.1	14.2	14.7
Рэля	1.3888	1.2288	1.1898	1.2498	11.5	14.3	10.0
Экспоненциальное	1.3641	1.2119	1.1594	1.2218	11.2	15.0	10.4
Нормальное корр. 1	1.4546	1.3974	1.4158	1.4391	3.9	2.7	1.1
Нормальное корр. 2	1.4727	1.3632	1.4333	1.4276	7.4	2.7	3.1
Нормальное корр. 3	1.4707	1.4772	1.4670	1.4856	–0.5	0.3	1.0

Таблица 4

Сравнение фильтров по различным параметрам

	Критерии								
	ФК			НС			ННС		
	max	mean	entropy	max	mean	entropy	max	mean	entropy
Нормальное	1	2	2	2	1	1	3	3	3
Равномерное	2	2	2	1	1	1	3	3	3
Логнормальное	2	1	3	3	1	2	1	2	1
Рэля	3	2	2	1	1	1	2	3	3
Экспоненциальное	2	2	2	1	1	1	3	3	3
Нормальное корр. 1	2	1	1	1	2	2	3	3	3
Нормальное корр. 2	1	1	1	2	2	3	3	3	2
Нормальное корр. 3	2	2	3	1	1	2	3	3	1

Нейросетевой фильтр оказался наиболее эффективным по всем показателям для ряда распределений, когда псевдослучайные величины не имели корреляции во времени. Фильтр, построенный на основе нечеткой нейронной сети, оказался самым эффективным только для случая лог-

нормального распределения погрешностей координат. Фильтр Калмана, как и следовало ожидать, показал наилучшие результаты для случая нормального распределения вероятностей.

Существующие системы управления движением судна, как правило, содержат тот или иной фильтр, поэтому выбор фильтра и настройка его параметров во многом определяют и качество управления в условиях неопределенностей. Качество работы фильтра во многом определяется статистическими свойствами шума как случайного процесса. Отдельно выступает задача тестирования навигационных фильтров. Ведь характер изменения погрешностей координат судна зависит от того, какая система используется для их получения (инерциальная система, спутниковая система или др.).

В идеале следует создать «универсальный» фильтр, который хотя бы в среднем выполнял фильтрацию лучше, нежели алгоритм, подходящий только под узкий класс погрешностей измерений. Перспективными в этом отношении выступают самонастраивающиеся системы, созданные на основе нейронных сетей или нейронечетких моделей. Интеграция их в единую систему стабилизации судна (например, на траектории), вероятно, позволит повысить качество управления.

Список литературы

1. Адамченко В. Н. Обработка радионавигационных измерений / В. Н. Адамченко. — М.: Транспорт, 1983. — 56 с.
2. Сергиенко А. Б. Алгоритмы адаптивной фильтрации: особенности реализации в MATLAB / А. Б. Сергиенко // Математика в приложениях. — 2003. — № 1 (1).
3. Дерябин В. В. Модель счисления пути судна в условиях воздействия внешних факторов / В. В. Дерябин // Эксплуатация морского транспорта. — 2011. — № 1 (63).
4. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей: пер. с англ. / Р. Каллан. — М.: Издат. дом «Вильямс», 2003. — 288 с.
5. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH / А. В. Леоненков. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.
6. Методы статистического моделирования в радиотехнике: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во БГТУ, 2003. — 37 с.
7. Степанов О. А. Применение теории нелинейной фильтрации в задачах обработки навигационной информации / О. А. Степанов. — СПб.: ГНЦ РФ — ЦНИИ «Электроприбор», 2004. — 370 с.
8. Пугачев В. С. Стохастические дифференциальные системы. Анализ и фильтрация / В. С. Пугачев, И. Н. Сеницын. — М.: Физматлит, 1990. — 642 с.
9. Дмитриев С. П. Задачи навигации и управления при стабилизации судна на траектории / С. П. Дмитриев, А. Е. Пелевин. — СПб.: ГНЦ РФ — ЦНИИ «Электроприбор», 2004. — 160 с.
10. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс: пер. с англ. / С. Хайкин. — М.: Издат. дом «Вильямс», 2006. — 1104 с.
11. Bhavani S. A. A New Self-Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for the Removal of Non-Linear Artifacts from the Respiratory Signal / A. S. Bhavani, D. Kumar, K. Seethalakshmi // J. of Computer Science. — 2012. — № 8 (5).
12. MATLAB R2011a: Users' Guide.
13. Haykin S. Adaptive Filter Theory. Upper Saddle River / S. Haykin. — N. J.: Prentice-Hall, Inc., 1996. — 920 p.

СТРАТЕГИЯ РАСХОЖДЕНИЯ СУДОВ В СИТУАЦИИ ЧРЕЗМЕРНОГО СБЛИЖЕНИЯ

THE STRATEGY OF MANEUVERING OF SHIPS IN A SITUATION OF EXCESSIVE PROXIMITY

Рассмотрена стратегия маневрирования судна для предупреждения столкновения с целью в ситуации чрезмерного сближения. Показано, что структура стратегии расхождения зависит от текущей относительной позиции судна и цели, а также их параметров движения. Предлагаемая стратегия может быть использована в бортовых автоматизированных системах предупреждения столкновений.

The strategy of maneuvering of ships in a situation of excessive proximity. We consider the strategy of maneuvering to avoid collision with the other ship (target ship) in a situation of excessive proximity. It is shown that the structure of the strategy depends on the relative positions of the vessel and target, as well as their motion parameters. The proposed strategy can be used in automated onboard systems for ship collision avoidance.

Ключевые слова: предупреждение столкновений, чрезмерное сближение, структура стратегии расхождения.

Key words: collision avoidance; excessive proximity of ships.

МЕЖДУНАРОДНЫЕ правила МППСС–72 в ситуациях чрезмерного сближения предписывают обоим судам принимать меры, обеспечивающие безопасное расхождение. В таких ситуациях оба судна принимают решения в условиях неопределенности относительно предстоящих действий партнера, поэтому безопасный исход в таких ситуациях возможен с использованием минимаксных стратегий.

Такому подходу в ситуации чрезмерного сближения посвящена работа [1, с. 32–35], в которой показано, что оптимальным курсом уклонения судна является курс, равный обратному пеленгу на опасную цель, при котором значение времени до возможного столкновения при наиболее опасном маневре цели достигает максимума. Учет угловой скорости при выборе оптимального курса уклонения рассмотрен в работе [2, с. 38–41], а выбору экстренного маневра уклонения с учетом навигационных опасностей посвящена работа [3, с. 136–140].

Целью данной публикации является рассмотрение стратегии расхождения судна при чрезмерном сближении без ограничения возможных начальных относительных позиций в ситуации отсутствия возможных навигационных опасностей и мешающих судов, причем рассматривается маневрирование судна только изменением курса, а его инерционность учитывается в первом приближении с помощью угловой скорости циркуляции.

При рассмотрении маневра расхождения в ситуации чрезмерного сближения исследуется только уклонение судна от опасной цели при ее непредсказуемом поведении, однако стратегия расхождения предусматривает изменение курса судна с момента обнаружения ситуации чрезмерного сближения до момента выхода на программную траекторию движения.

Как показано в работах [2; 4], в нулевой момент времени (момент обнаружения ситуации чрезмерного сближения) судно, следуя минимаксной стратегии, которая предполагает наиболее неблагоприятный маневр уклонения цели, должно лечь на курс K_0 , равный обратному пеленгу на цель, то есть $K_0 = \alpha + 180$, где α — пеленг на цель. При этом поворот на указанный курс производится в сторону от направления на цель с максимальной угловой скоростью. Данный этап стра-

тегии расхождения, который можно назвать убеганием от цели, предназначен для обеспечения максимального значения скорости изменения дистанции между судном и целью. В данной работе будем считать, что скорость цели V_c превосходит скорость судна V_o , то есть $V_c > V_o$.

На данном этапе необходимо компенсировать ситуацию чрезмерного сближения, изменяя позицию судна относительно цели так, чтобы оно оказалось в ситуации, обеспечивающей безопасное сближение и движение судна к программной траектории движения.

Таким образом, после поворота на курс K_o , когда максимально возможная дистанция кратчайшего сближения $\max L_{\min}$ не превосходит предельно допустимую дистанцию L_d , то есть $\max L_{\min} \leq L_d$, судно следует курсом $K_o = \alpha + 180$, причем этот курс изменяется с изменением пеленга α , так как происходит перемещение цели относительно судна. Очевидно, что в этом случае курс судна стремится к начальному программному курсу, а дистанция между судном и целью в общем случае увеличивается. Если скорость судна меньше скорости цели $V_c > V_o$, то при изменении курса судна на 360° относительный курс изменяется лишь в некотором секторе, достигая максимального и минимального значений, величина которых определяется выражениями [4]:

$$K_{o\min} = \pi + K_c - \arcsin \rho \quad \text{и} \quad K_{o\max} = \pi + K_c - \arcsin \rho, \quad (1)$$

где $K_{o\min}$ и $K_{o\max}$ — соответственно минимальное и максимальное значения относительного курса; K_c — курс цели; $\rho = V_o/V_c$, причем в рассматриваемом случае $\rho < 1$.

Следовательно, при $\rho < 1$ для всех истинных курсов судна из диапазона от 0 до 2π относительный курс будет принимать значения из диапазона $[K_{o\min}, K_{o\max}]$. Если же $\rho \geq 1$, то относительный курс изменяется от 0 до 2π при изменении истинного курса судна в тех же пределах.

Очевидно, если скорость судна меньше скорости цели, то максимально возможная дистанция кратчайшего сближения $\max L_{\min}$ достигается при относительных курсах $K_{o\min}$ или $K_{o\max}$. Если через K_{extr} обозначить экстремальный относительный курс ($K_{o\min}$ или $K_{o\max}$), на котором дистанция кратчайшего сближения $L_{\min}$ максимальна, то при условии, что цель не изменяет параметры движения, выражение для $\max L_{\min}$ имеет следующий вид [4]:

$$\max L_{\min} = D \sin (K_{\text{extr}} - \alpha), \quad (2)$$

где α , D — соответственно пеленг на цель и дистанция между судном и целью.

Так как с момента времени начала отворота судна от начального программного курса пеленг α и дистанция D изменяются, то в момент времени t_{on} достижения курса судна значения курса «убегания» K_o необходимо оценить текущую относительную позицию. Для этого следует с помощью формулы (1) рассчитать экстремальные относительные курсы и вычислить максимально возможную дистанцию кратчайшего сближения $\max L_{\min}$ по формуле (2). Затем надлежит проверить справедливость неравенства $\max L_{\min} \leq L_d$. Если неравенство справедливо, то надлежит следовать курсом «убегания» K_o , удерживая курс судна противоположным пеленгу на цель, стараясь увеличить дистанцию до цели. При этом надлежит контролировать соотношение $\max L_{\min} \leq L_d$. При справедливости данного неравенства судно продолжает следовать курсом K_o до тех пор, пока максимально возможная дистанция кратчайшего сближения $\max L_{\min}$ не станет равной дистанции кратчайшего сближения L_d , то есть $\max L_{\min} = L_d$. Момент времени этого события обозначим t_{ok} . В данный момент времени необходимо изменить курс судна на величину, при которой достигается экстремальное значение относительного курса и максимальное значение дистанции кратчайшего сближения. Как показано в работе [4], экстремальные относительные курсы $K_{o\min}$ и $K_{o\max}$ достигаются соответственно при курсах судна:

$$K_{o\min} = K_c + \arccos (\rho) \quad \text{и} \quad K_{o\max} = K_c - \arccos (\rho),$$

Следуя одним из указанных курсов, судно перемещается в сторону цели, причем дистанция D между судном и целью сокращается, достигая в момент времени t_b значения предельно допустимой дистанции L_d . Начиная с этого момента времени, дистанция D увеличивается и судно ложится на курс выхода на программную траекторию K_b , причем участок выхода на программную траекторию

движения судна расположен под углом $\gamma = 30\text{--}40^\circ$ к программной траектории, то есть $K_b = K_n \pm \gamma$, где K_n — начальный курс судна.

Судно следует курсом выхода K_b до тех пор, пока не достигает программной траектории, после чего ложится на начальный курс K_n , перемещаясь по программной траектории.

Если в момент времени t_{on} достижения курса судна значения курса «убегания» K_o имеет место неравенство $\max L_{\min} \geq L_d$, то необходимо проверить возможность выхода судна на программную траекторию курсом k_b , для чего надлежит произвести контроль изменения дистанции при следовании этим курсом. Если дистанция увеличивается, то судно может выходить на заданную траекторию. В противном случае при уменьшении дистанции необходимо рассчитать дистанцию кратчайшего сближения $L_{\min b}$ при следовании курсом K_b с позиции в момент времени t_{on} . Если справедливо неравенство $L_{\min b} \geq L_d$, то судно реализует участок выхода судна на программную траекторию. Если же неравенство не выполняется, то следует рассчитать курс уклонения K_y , при котором дистанция кратчайшего сближения $L_{\min}$ равна предельно допустимой дистанции L_d , то есть $L_{\min} = L_d$. В этом случае значение курса уклонения K_y рассчитывается по формуле [4]:

$$K_y = K_{oty} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_c - K_{oty})],$$

где K_{oty} — относительный курс уклонения, который определяется из выражения

$$K_{oty} = \alpha_y + \arcsin\left(\frac{L_d}{D_y}\right),$$

где α_y и D_y — соответственно пеленг и дистанция в момент времени t_{on} .

Список литературы

1. Бурмака А. И. Разработка стратегии расхождения судов в ситуации опасного сближения / А. И. Бурмака // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. — Одесса: ИздатИнформ, 2011. — Вып. 20.
2. Бурмака А. И. Учет угловой скорости судна при расчете параметров маневра расхождения в ситуации чрезмерного сближения / А. И. Бурмака // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. — Одесса: ИздатИнформ, 2012. — Вып. 21.
3. Урбанский И. А. Учет навигационных опасностей при экстренном расхождении / И. А. Урбанский // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. — Одесса: ИздатИнформ, 2007. — Вып. 14.
4. Цымбал Н. Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н. Н. Цымбал, И. А. Бурмака, Е. Е. Тюпиков. — Одесса: КП ОГТ, 2007. — 424 с.

УДК.656.61.052

К. А. Обертюр,
аспирант,
Одесская национальная морская академия
(Украина)

МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ СУДНА В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

THE METHODOLOGY OF DECISION-MAKING TO ENSURE THE SHIP FLOODABILITY IN EMERGENCY SITUATIONS

Разработана методика поиска и реализации эффективных решений для операторов судовых эргатических систем уровня управления при обеспечении непотопляемости судна в чрезвычайных ситуациях. В предложенной интеллектуальной экспертной системе изложен алгоритм поиска и получения рекомендаций для корректирующих действий по возвращению морской транспортной системы в устойчивое состояние в аварийных ситуациях. Проведена имплементация инверсного метода сценарного анализа, принципов гарантированной безопасности в алгоритм повышения информативности операторов в экстремальных условиях рейса.

The methodology of searching and implementing effective solutions for management level operator's ergative system to ensure the ship floodability in emergencies is developed. In the proposed intellectual expert system is presented algorithm of searching and receiving recommendations of corrective actions for returning maritime transport system to sustainable state in emergency. The inverse scenario analysis and the principle of guaranteed safety were implemented into algorithm to improve operators' emergency situations awareness.

Ключевые слова: безопасность судоходства, непотопляемость судна, эргатические системы, инверсный метод сценарного анализа, алгоритм принятия решений, интеллектуальные экспертные системы.

Key words: safety of navigation, ship floodability, ergative system, inverse scenario analysis, algorithm of operators' solution, intelligent expert systems.



ВЕ трети от общего количества катастроф составляют случаи повреждения корпуса и потери плавучести судна. Процедура обеспечения непотопляемости судна содержит комплекс мероприятий: конструктивные — изначально реализованные при постройке судна, расчет затопления отсеков на крен, дифферент и остойчивость так, чтобы плавучесть утрачивалась ранее остойчивости; превентивные — направленные в процессе эксплуатации судна на предотвращение попадания воды внутрь корпуса, поддержание достаточных запасов плавучести и остойчивости, готовности экипажа, технических средств для сохранения или восстановления минимума этих запасов в случае частичного затопления корпуса; оперативные — борьба экипажа по обеспечению непотопляемости судна [1, с. 24–27; 2, с. 23–24].

Готовность экипажа определяет вероятность принятия ошибочных действий операторами, происходящих из-за: управленческой несогласованности; недостатка оперативных знаний и неготовности оператора к экстремальному управлению [3, с. 51–58]. В большинстве случаев ошибки операторов проявляются тогда, когда после межрейсового отдыха в начальный период нахождения на судне оператор проходит процесс адаптации. В этот период оператор восстанавливает и восполняет недостаток теоретических знаний и практических навыков управления, дефицит которых повышает вероятность появления ошибочных решений и действий для возвращения системы в работоспособное состояние в чрезвычайных ситуациях. Согласно с представленным, малоизученной остается проблема влияния готовности экипажа в начальный период рейса на процесс безопасности судоходства. Разработка новых методов восстановления знаний, умений и навыков

операторов уровня управления в начальный период выполнения ими своих должностных обязанностей позволит создать условия минимизации временного периода адаптации. В связи с этим обращает на себя внимание поиск решений как элементов системы безопасности судоходства путем информационной поддержки и восстановления операторами своих знаний, умений и навыков в процессе обеспечения безопасного управления судном командным составом в экстремальных условиях рейса.

Целью настоящего исследования является: повышение безопасной эксплуатации судна посредством минимизации адаптационного периода с использованием логических алгоритмов принятия решений в чрезвычайных ситуациях для экипажа. Объект исследования: процесс эксплуатации морского судна. Предмет исследования: алгоритмы получения и реализации эффективных решений для командного состава в борьбе за непотопляемость судна в аварийных ситуациях.

Исходя из того, что в адаптационный период деятельности оператора на судне присутствует устойчивый показатель возникновения аварийных ситуаций, становится очевидным провести поиск решений для создания рекомендаций операторам уровня управления с последующей имплементацией их в систему безопасности морского транспорта, что позволит повысить уровень готовности экипажа в обеспечении плавучести судна в обычных условиях или при возникновении аварийных ситуаций. В связи с этим задачами исследования являются: разработка методики нахождения эффективных решений операторами уровня управления в морской транспортной системе (МТС) по обеспечению непотопляемости судна в чрезвычайных ситуациях; разработка алгоритма принятия решений и действий по возврату системы в рабочее и устойчивое состояние для повышения информативности операторов в чрезвычайных ситуациях на основе сценарного прогнозирования и метод создания интеллектуальных экспертных систем.

Моделирование ситуаций, связанных с действиями лиц, принимающих решения (ЛПР) для использования при управлении судном, планируется рассмотреть на основе теории гибких систем. Согласно методологии сценарного анализа выявляются сцены гармонизированных условий процесса управления, то есть посредством анализа технической системы, действия операторов в процессе принятия решений направлены на поиск и выявление стратегических, тактических и оперативных направлений управления и прогноз существования возможных дефектов. Исходной теоретической моделью является «закон муравья на дереве» предусматривающий накопление информации и переход сознания человека из будущего в настоящее и прошлое [3]. Во многих случаях решения исследовательских задач целиком зависят от умения обнаружить необходимый и достаточный информационный ресурс, но в то же время его наличие не гарантирует, что данный информационный ресурс будет реализован самым эффективным способом. Также становится целесообразным дополнительно рассмотреть систему с точки зрения принципов гарантированной безопасности [4, с. 194–203]. В связи с этим было принято решение вначале исследовать пути повышения безопасности морской транспортной системы (МТС), используя методологию создания экспертных систем [5; 6; 7, с. 130–142]. Структура интеллектуальной динамической экспертно-диагностической системы (ИДЭДС) в МТС представлена на рис. 1.

Принцип работы системы представлен в словесном алгоритме функционирования ИДЭДС для поиска рекомендаций и корректирующих действий по возвращению МТС в устойчивое рабочее состояние в чрезвычайных ситуациях.

Этап 1. Введение в ИДЭДС полного эталонного сценария функционирования МТС из базы данных (БД), включающего множество сценариев МТС с внешнего запоминающего устройства (ВЗУ), сформированного на основе методологии сценарного прогнозирования:

— шаг 1. Оператор через интерфейс производит выбор иерархического уровня оператора в структуре МТС, относительно которого происходит последующая загрузка информации для проведения экспертной поддержки;

— шаг 2. Формализация сгруппированных в метанборы данных на основе функциональных блоков образов, в виде актов, сцен, действий субъектов управления микро- и макроокружения в стратегии, тактику и оперативное искусство;

— шаг 3. Введение признаков правильной работы МТС на основе принципов функционирования, структурирования и управления системы.

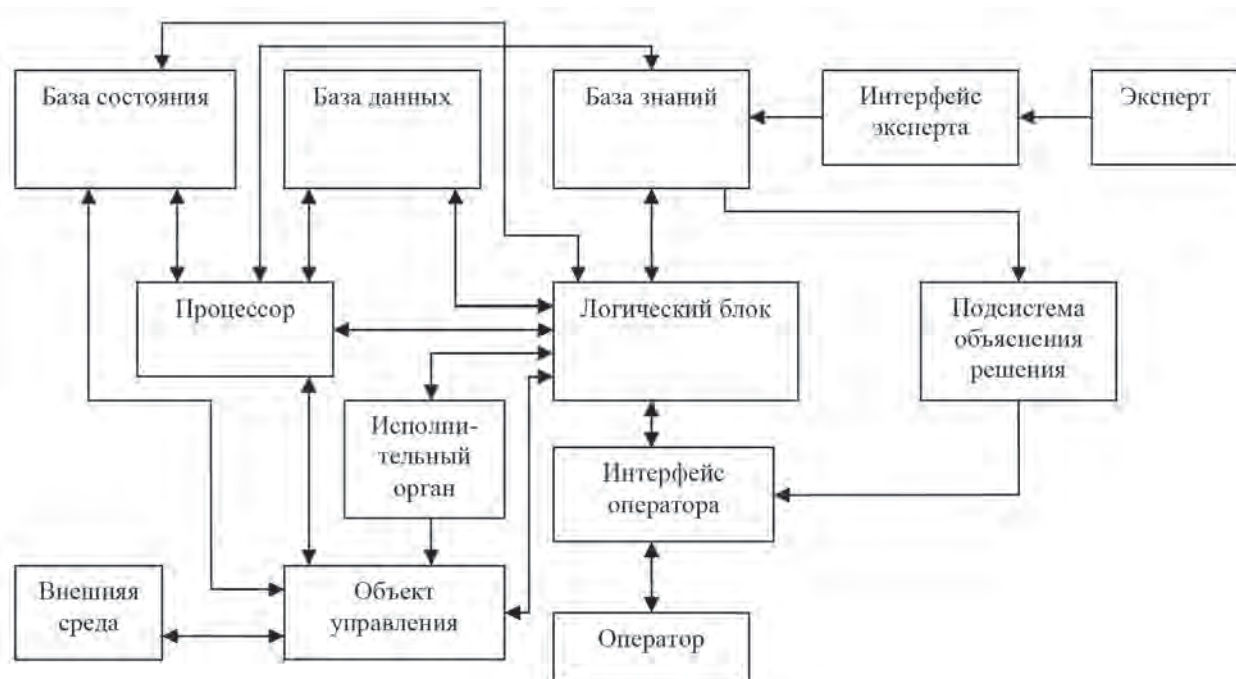


Рис. 1. Структурная схема интеллектуальной динамической экспертно-диагностической системы в МТС

Этап 2. Инициация логическим блоком (ЛБ) ввода в оперативную память (ОП) множества изменений, происходящих в реальных условиях с объектом управления (ОУ) посредством возмущений из внешней среды.

Этап 3. ЛБ проводит слежение и контроль выполнения задачи согласно эталонному сценарию:

- шаг 1. Сравнивает образы эталонного сценария с реальным сценарием за дискретные периоды времени;
- шаг 2. Опрашивает бортовую систему оперативного контроля;
- шаг 3. Анализирует выходные сигналы, дает заключение и выводит информацию на интерфейс.

Этап 4. В момент окончания выполнения сцены по сценарию ЛБ изымает из ОП информацию об успешно пройденном этапе сценария и записывает в БД ВЗУ, а затем стирает ее в ОП, освобождая место для загрузки следующей (новой) сцены по сценарию из БД ВЗУ для дальнейшего контроля и слежения.

Этап 5. Логический блок обнаружил отклонение, фактическое или по скорости его нарастания в поведении объекта управления, не соответствующее эталонным значениям:

- шаг 1. ЛБ передает сигнал отклонения о поведении ОУ на интерфейс, с выводом предупредительной информации для оператора: обнаружена неисправность!;
- шаг 2. ЛБ запрашивает значения сигналов бортовой системы оперативного контроля ОУ для определения места, причины неисправности;

— шаг 3. ЛБ проводит диагностику системы следующим образом: если актом сценария является выход из порта — есть маневрирование, имеются решения, входящие в состав множества действий, и в составе множества действий имеются решения, в которых условия отклонения центра тяжести судна — упоминается как процесс обеспечения непотопляемости судна (а); в составе множества действий имеются решения, в которых условия отклонения при обнаружении источников пожара — упоминается как борьба с пожаром (б); в составе множества действий имеются решения, в которых условия по отклонению способности движения — упоминается как процесс обеспечения ходкости (в); то в сценариях, у которых в условиях имеется отклонение центра тяжести судна, следует активировать алгоритм принятия решений по обеспечению непотопляемости судна (а) ранее, а затем использовать сценарии (б), (в).

Этап 6. ЛБ формирует фрагмент информационного образа этапа диагностики, относящийся к событию, и обращается в базу знаний (БЗ):

— шаг 1. БЗ, получив информацию о характерных признаках образов события, проводит приоритетный поиск и выбор рекомендаций, используя механизм окна активизации знаний, и если такая реакция ОУ встречалась ранее, то предлагается перечень возможных неисправностей из предыдущего опыта, соответствующих данному типу отклонений;

— шаг 2. Применяя критерий максимума отношения вероятности, БЗ осуществляет поиск вероятностной составляющей правдоподобности предлагаемых рекомендаций для оператора, используя следующий подход: если аварийное событие, которое требует исправления, есть процесс обеспечения непотопляемости, судовая система имеет признаки отклонения центра тяжести судна (ЦТ), уменьшение метацентрической высоты, крен, дифферент и т. п., и признаки не относятся к результатам диагностики по задымлению, потери ходкости — тип аварии затопление, то признаки, которые могут привести к такому виду аварии с коэффициентом уверенности: 0,75 — водотечность корпуса судна; 0,6 — нарушение целостности донно-заборной арматуры; 0,5 — нарушение герметичности кингстона аварийного пожарного насоса (АПЖН); 0,4 — течь в трубопроводе балластной системы.

Этап 7. БЗ предоставляет оператору информацию о рекомендациях посредством вывода на интерфейс, которая проходит через «подпрограмму объяснения рекомендуемых решений» (ПОР), тем самым повышая ее достоверность.

Этап 8. ЛБ на основании полученной информации осуществляет корректирующие действия в автоматическом или ручном режиме для приведения МТС в устойчивое рабочее состояние:

— шаг 1. Автоматический режим — ЛБ осуществляет выбор алгоритма действий из БД согласно полученной рекомендации из БЗ и посредством исполнительного органа (ИО) воздействует на ОУ;

— шаг 2. Ручной режим — оператор использует рекомендации для решения аварийного события БЗ и ПОР, вводя команды алгоритма возврата системы в устойчивое состояние через интерфейс, затем ЛБ воздействует на ИО, проводит корректирующие действия на ОУ.

Этап 9. Оценка эффективности принятых решений по реализации сценария восстановления рабочего состояния МТС:

— шаг 1. Если поведение ОУ возвращается в первоначальное устойчивое состояние, то ИДЭДС переходит в следящий режим контроля и диагностики для дальнейшего процесса выполнения заданного сценария;

— шаг 2. Если ОУ после корректирующих действий получил новое рабочее устойчивое состояние (коэффициент пропорциональности в пределах допустимых критериев), то ИДЭДС изменяет стратегию действий и переходит к контролю за осуществлением реализации нового сценария «работоспособность ОУ в условиях аварийного режима»;

— шаг 3. Если ОУ входит в состояние неустойчивости, стремящееся к катастрофе, то ИДЭДС изменяет стратегию действий, проводит диагностику по новым критериям, получает рекоменда-

ции по решению задач, адаптированные к критическим (катастрофическим) условиям текущей ситуации.

Для практической реализации поставленных целей разработан алгоритм, в котором точное выполнение команд должно помочь оператору эргатических систем получать на выходе однозначные решения и давать возможность пошагового достижения прогнозируемого результата. Следует отметить, что алгоритм действий операторов судовых эргатических систем в чрезвычайных ситуациях не работает с математическими моделями, а оперирует с образами происходящих событий. Блок-схема алгоритма принятия решений операторами приведена на рис. 2, где $F_{\text{ИМО(зак-норм)}}$ — банк данных ИМО в области законодательно-нормативной базы для морского флота при аварийных событиях; $F_{\text{(БЕЗ)}}$ — банк данных комплексной системы нормативного обеспечения безопасности и сохранности перевозки грузов морем $K_{\text{(отказа)}}$; $F_{\text{(экспл)}}$ — банк данных проектных, технико-эксплуатационных требований и нормативов в разделе мореходных качеств судна. $F_{\text{(экспертн)}}$ — банк данных оперативных экспертных оценок при выборе безопасных и оптимальных режимов плавания судна; $F_{\text{ИМО(ПНДВ)}}$ — банк данных ИМО о соответствии уровня знаний и умений в области подготовки и дипломирования морских специалистов требованиям Конвенции ПДНВ; $F_{\text{(страт)}}$ — банк данных нормативных документов ИМО, инфраструктуры транспорта Украины о стратегии принятия решений по обеспечению живучести судна; $F_{\text{ПНДВ}}$ — банк данных соответствия уровня знаний и умений в области подготовки и дипломирования морских специалистов требованиям ПДНВ; F_{TEAS} — банк данных тренажерной подготовки согласно критериям автоматизированной системы оценки о выполнении упражнений (TEAS); $F_{\text{опер}}$ — банк данных стратегии оперативного искусства по реализации принятых решений для обеспечения непотопляемости судна; $F_{\text{ПГБ}}$ — банк данных соответствия принципам гарантированной безопасности в процессе реализации принятых решений (ПГБ); $F_{\text{рес(внешн)}}$ — банк данных внешнего ресурса в виде информационной помощи лиц, находящихся далеко от места происшествя; Y — классификация источника аварии; $K_{\text{(отказа)}}$ — классификация отказа в системе; P — причина аварийного события; $T_{\text{ум.зн}}$ — уровень умений и знаний операторов; A — классификация серьезности аварии; $V_{\text{(стр)}}$ — стратегия принятия решений по обеспечению живучести судна Нэш, Паретто; $G\{M, N\}$ — двухмерный массив данных наличия достаточности необходимых условий; $X_{\text{раб(н)}}$ — устойчивое работоспособное состояние системы до аварийного происшествя; $X_{\text{раб(к)}}$ — суммарный интегральный показатель эффективного и оптимального принятия, реализации решений и действий для возвращения системы в работоспособное состояние.

В результате реализации алгоритма в исследовании сценария обеспечения непотопляемости судна в чрезвычайной ситуации получено решение о спасении экипажа, которое полностью удовлетворяет требованиям эталонного сценария в области принятия предложенных управленческих решений для спасения людей и не удовлетворяется по отношению к судну. В то же время, применив алгоритм в стратегии сохранения и повышения плавучести судна, происходит оптимальное и эффективное достижение поставленных целей по спасению людей и обеспечению положительной плавучести судна.

Следующим шагом в исследовании определена целесообразность применения методики повышения информативности операторов уровня управления для обеспечения непотопляемости судна в процессе предрейсовой подготовки. В общем случае решение этой задачи получено на основе методологии сценарного исследования. В связи с этим разработан сценарий поведения системы по обеспечению непотопляемости судна на базе теории гибких систем с применением понятия сценарной методологии и математических моделей оргграфов [4; 8; 9, с. 4–18].

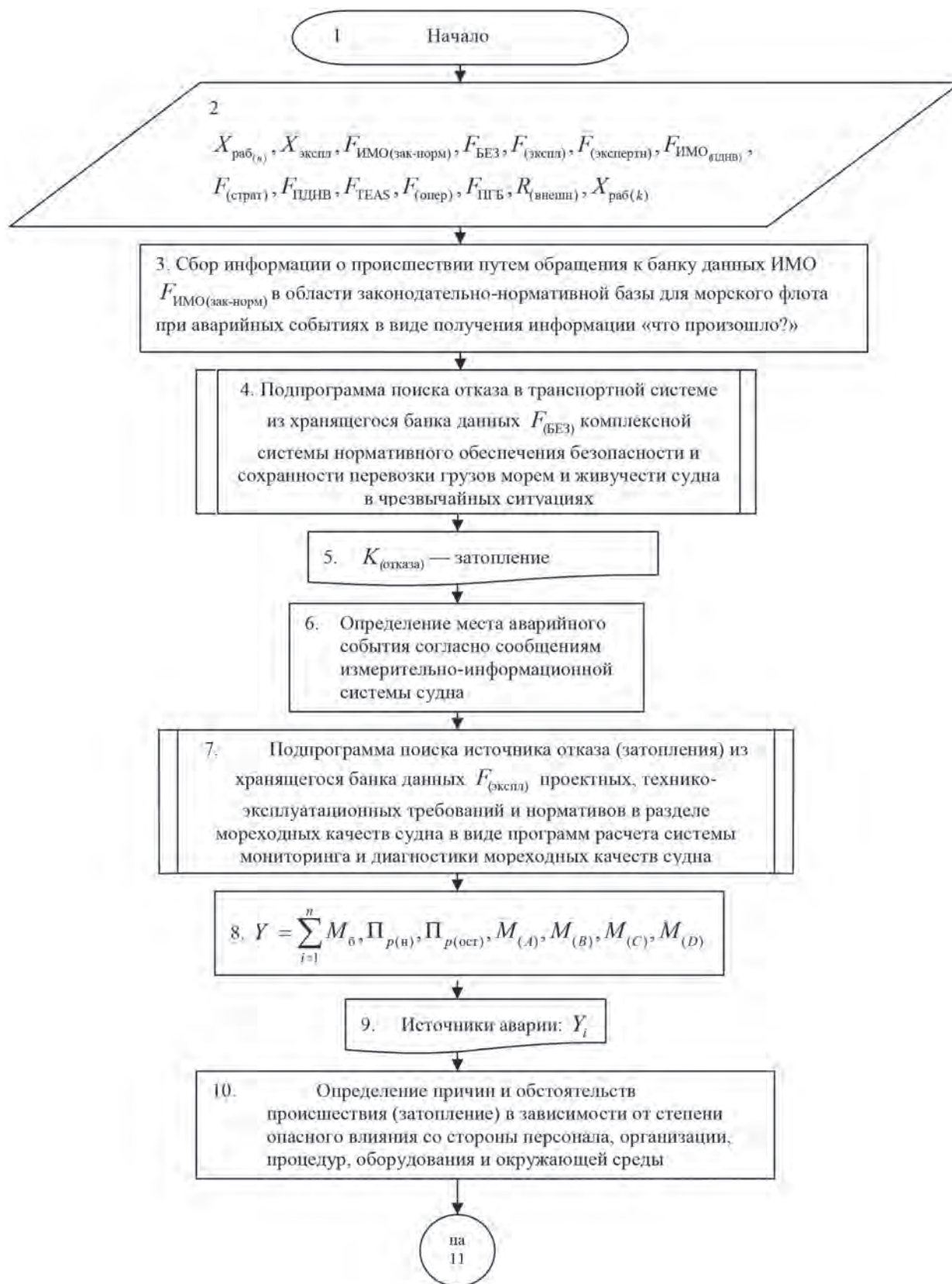
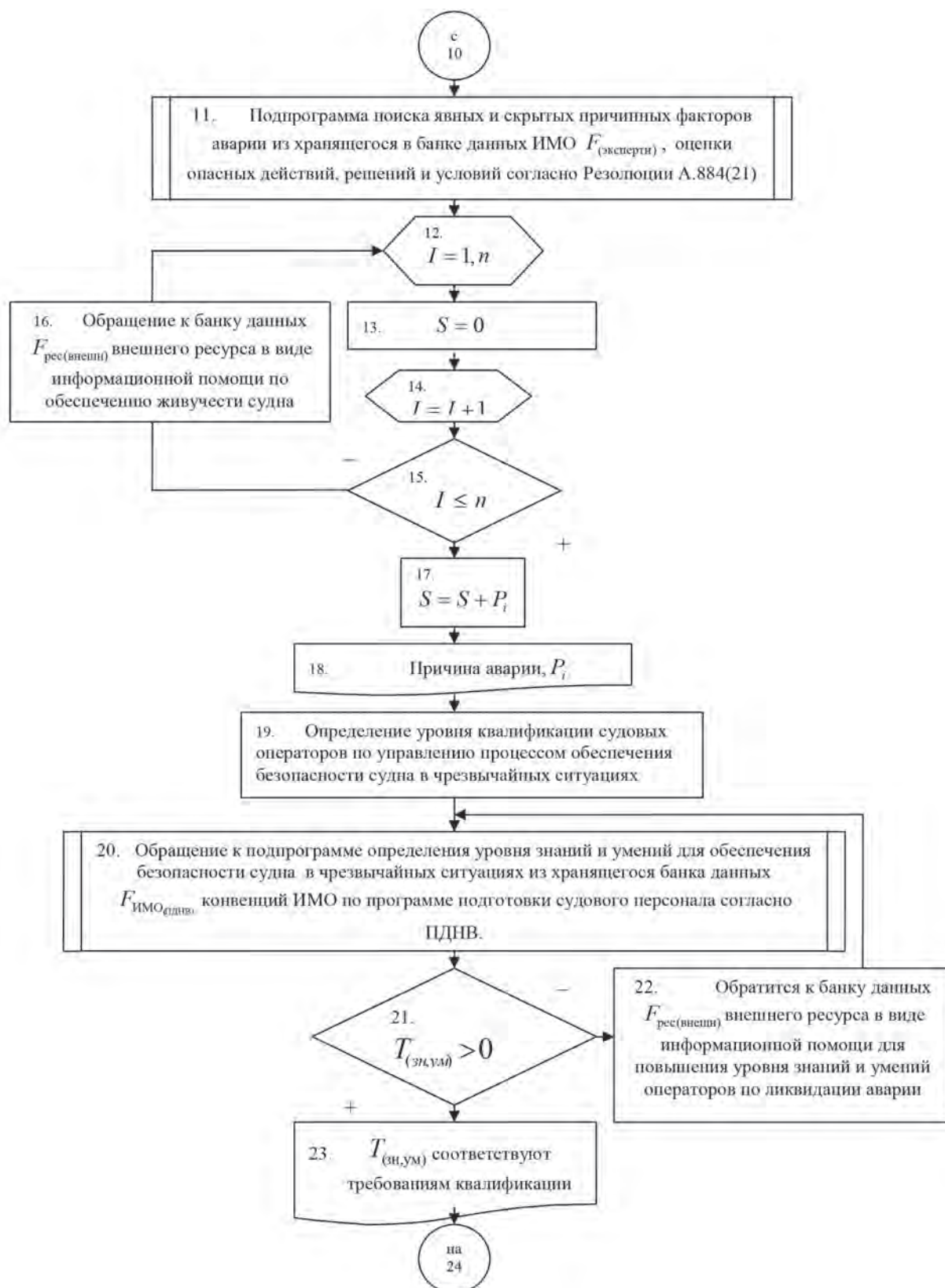
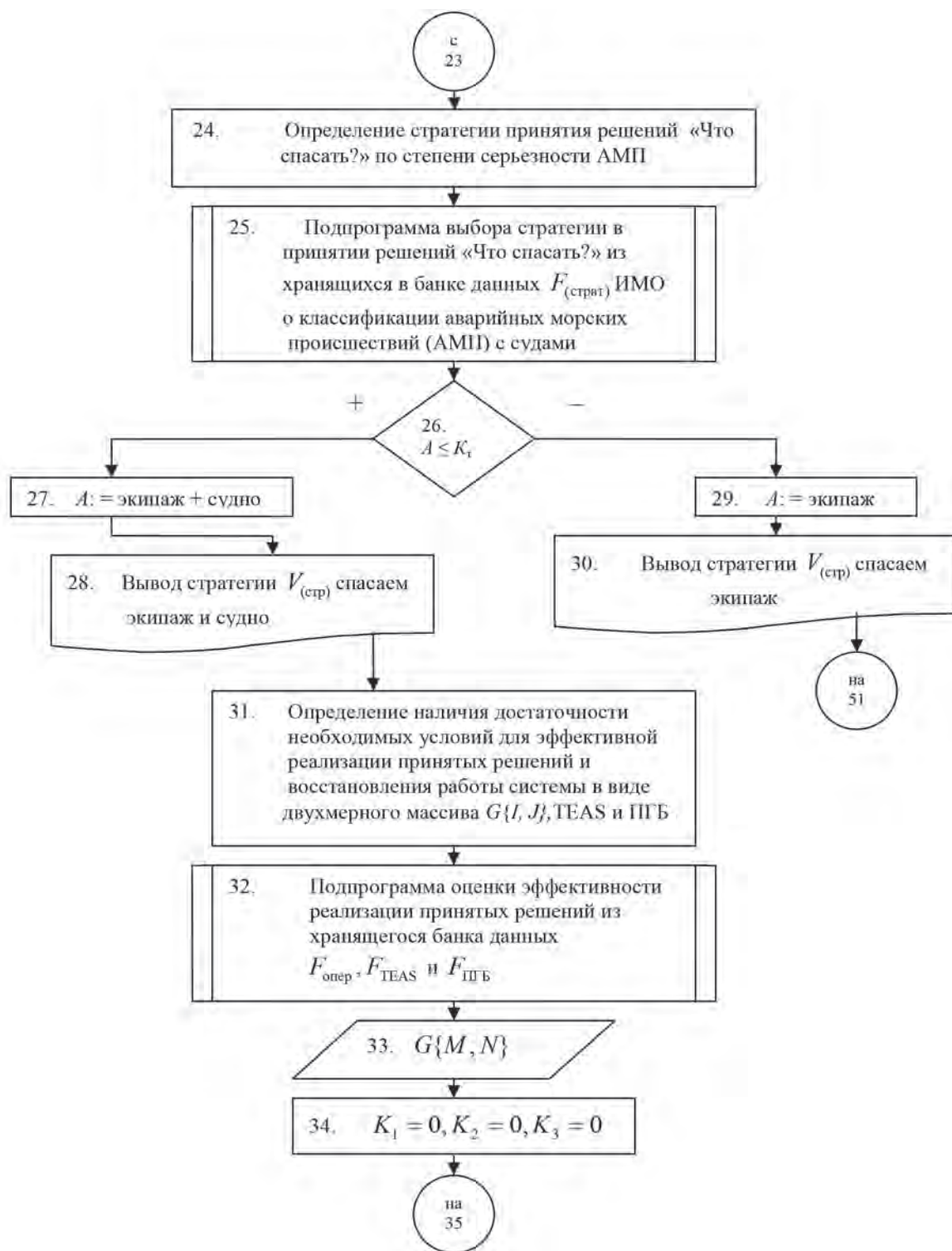


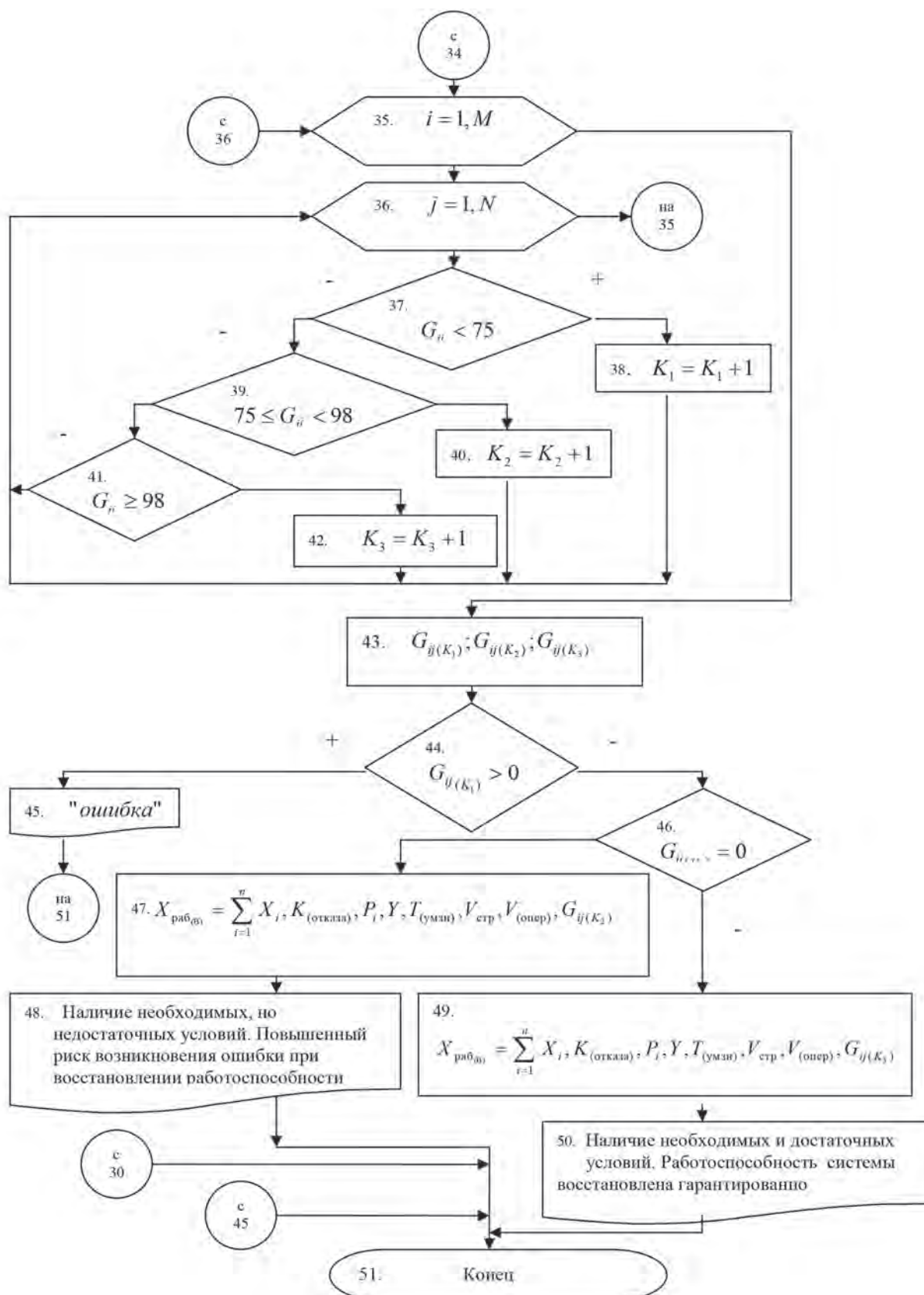
Рис. 2. Обобщенная блок-схема алгоритма принятия решений операторов судовых эргатических систем в чрезвычайных ситуациях



Продолжение рис. 2



Продолжение рис. 2



Окончание рис. 2

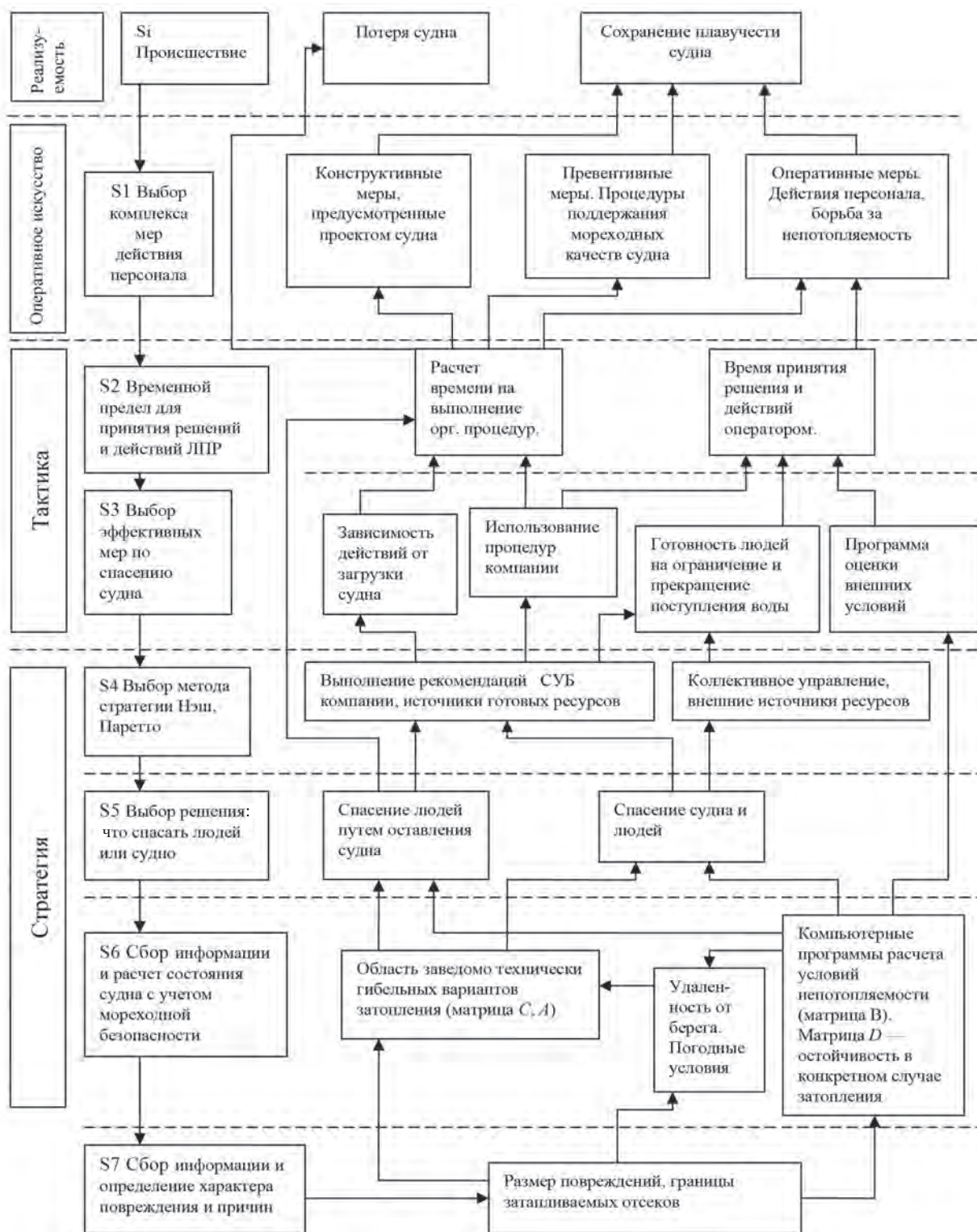


Рис. 3. Сценарный синтез действий операторов судовых эргатических систем в обеспечении непотопляемости судна

В заключение сценарный синтез действий операторов эргатических систем (рис. 3) структурировал порядок целедостижения и отразил эффективность предложенной методики принятия решений.

Разработанные логические алгоритмы позволяют операторам судовых эргатических систем уровня управления получать поддержку принятия решения. При этом выполнение предложенного алгоритма позволяет достичь оптимального результата за конечное число шагов и получить решения задач, различающихся только исходными данными из области применения в МТС. Для реализации алгоритмов предлагается применение технологий удаленного доступа (Cloud Technology). Они позволяют использовать базы знаний и данных обо всех возможных сценариях развития аварийных ситуаций, и обращение к ним расширит возможности быстрого действия получения необходимой информации. Это позволит контролировать выполнение рекомендованных действий в сценариях. Источником пополнения знаний станет глобальная информационная сеть на базе системы поддержки принятия решений для пользователей. Созданная методика позволит оператору судна использовать более достоверные данные для нахождения адекватных решений на этапе адаптационного периода, сводя к минимуму его продолжительность. Имеющиеся достоинства системы принятия решений позволяют рекомендовать ее использование при подготовке операторов судовых эргатических систем в предрейсовый период, что позволит повысить уровень квалификации командного состава при обеспечении безопасной эксплуатации судна.

Список литературы

1. Бондарь В. М. Системный подход к обеспечению непотопляемости судна / В. М. Бондарь // Судовождение. — 1998. — № 10.
2. Голиков В. А. Безопасность мореплавания — извечная проблема моряков / В. А. Голиков // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці. Перша міжн. наук.-техн. конф., присвячена 90-річчю НУК ім. адм. Макарова, 15–17 сентября 2010 г. Секция 6: «Безпека мореплавства».
3. Голиков В. В. Системный подход к проблеме безопасного управления судном / В. В. Голиков // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. — Одесса: ИздатИнформ, 2009. — Вып. 17.
4. Голиков В. В. Сценарное исследование деятельности операторов морской транспортной системы на принципах гарантированной безопасности в чрезвычайных ситуациях / В. В. Голиков, К. Л. Обертюр, И. В. Сафин // Судовые энергетические установки: науч. техн. сб. — Одесса: ОНМА, 2012. — № 30.
5. Люгер Д. Искусственный интеллект / Д. Люггер. — М.: Мир, 2003. — 690 с.
6. Нечаев Ю. И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений / Ю. И. Нечаев. — СПб.: Арт-Экспресс, 2011.
7. Нечаев Ю. И. Принятие решений при управлении судном в экстремальных ситуациях на основе современной теории катастроф / Ю. И. Нечаев, В. Г. Сизов // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. — Одесса: ИздатИнформ, 2010. — Вып. 20.
8. Качинский А. Б. Засади системного аналізу безпеки складних систем / А. Б. Качинский // Формування і реалізація державної політики управління процесами європейської та євроатлантичної інтеграції України. — Киев: ДП «НВЦ “Євроатлантикінформ”», 2006. — 336 с.
9. Кононов Д. А. Сценарии поведения сложных систем в чрезвычайных ситуациях / Д. А. Кононов, В. В. Кульба, Г. Г. Малинецкий. — 2001. — № 5.

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

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

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ РИСКОВ ПРИ ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ ПРИ ПРОХОДЕ УЗКОСТИ

NAVIGATIONAL RISKS CALCULATION WHEN MODELING OF SAILING THROUGH THE NARROWS

Статья посвящена вопросу безопасного плавания судов в стесненных условиях. Произведена оценка влияния гидрометеорологических факторов на безопасность судовождения и расчет навигационных рисков прохода судна по участку со стесненными условиями.

The paper consider the problem of safety of ships piloting through the narrows. The estimation of hydrometeorology factors for safety and calculation of navigational risks for ships passage through the narrows are made.

Ключевые слова: определение навигационных рисков, анализ навигационной безопасности, определение ширины маневренной полосы движения судна.

Key words: navigational risks calculation; analysis of navigation safety; estimation of the maneuvering lane width for ship's moving.

ИМИТАЦИОННОЕ моделирование применяется для оценки навигационных рисков при проектировании и строительстве сооружений и объектов, эксплуатация которых сопряжена с дополнительными рисками для судовождения. Одним из главных параметров, определяющих область возможного нахождения судна, является ширина маневренной полосы движения судна. Она зависит от размерений судна и углов сноса. Кроме этого, целесообразно рассматривать уклонение центра тяжести (ЦТ) судна от эталонной (заданной) траектории $\Delta x(t)$.

Будем полагать, что процесс $\Delta x(t)$ распределен по нормальному закону и имеет некоторые значения математического ожидания ($m_{\Delta x}$) и дисперсии ($\sigma^2_{\Delta x}$).

Помимо процесса $\Delta x(t)$, положение судна на траектории движения будет характеризоваться шириной маневренной полосы движения $B(t)$ при угле дрейфа $C \neq 0$ [2].

Тогда совместный учет статистических характеристик процессов $\Delta x(t)$ и $B(t)$, характеризующих качество управления судном, позволяет оценить изменчивость параметров траектории движения судна, а значит, и навигационные риски прохода узкости.

Процессы $\Delta x(t)$ и $B(t)$ статистически независимы, поэтому оценка общего среднего значения изменчивости траектории судна составит

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

где $m_{\Delta x}$ — математическое ожидание изменчивости ЦТ судна;

m_B — математическое ожидание изменчивости ширины полосы движения судна;

m_{Σ} — суммарное математическое ожидание.

Значение дисперсии изменчивости полосы траектории движения судна составит

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

где $\sigma_{\Delta x}^2$ — дисперсия изменчивости ЦТ судна;
 σ_B^2 — дисперсия изменчивости ширины полосы движения судна;
 σ_{Σ}^2 — общая дисперсия изменчивости параметров движения судна.

Для оценки навигационных рисков прохода судном узкости можно применить «правило трех сигм», которое позволяет оценивать вероятность свершения события:

$$P = \{(x - m_B) \geq k \sigma_B\} = 2\Phi(k), \quad (3)$$

где $\Phi(k)$ — функция Лапласа;
 $k = 1, 2, 3, \dots$ — число.

В частности, при $k = 1$ $P = 0,673$, при $k = 2$ $P = 0,950$, при $k = 3$ $P = 0,997$.

Известно, что среднее квадратическое отклонение изменчивости ширины маневренной полосы движения имеет вид [2]:

$$\frac{\sigma_B}{B_C} = \frac{\sigma_C}{57,3^\circ} \left| \frac{L_C}{B_C} \cos C - \sin C \right|. \quad (4)$$

Суммарное математическое ожидание изменчивости параметров движения судна составит

$$\frac{m_{\Sigma}}{B_C} = \frac{L_C}{B_C} \sin m_C + \cos m_C + m_{\Delta x}. \quad (5)$$

На основании (4) дисперсия составит

$$\sigma_B^2 = \left(B_C \frac{\sigma_C}{57,3} \left| \frac{L_C}{B_C} \cos C - \sin C \right| \right)^2. \quad (6)$$

Полученные результаты позволяют оценить вероятность изменения суммарной маневренной полосы в пределах допустимой ширины судового хода:

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

где a_1, a_2 — границы ширины судового хода.

Например, пусть получены значения $m_{\Delta x} = 5$ м, $\sigma_{\Delta x} = 1$ м, $m_C = 2^\circ$, $\sigma_C = 2^\circ$.

Для соотношения размеров судна $\frac{L_C}{B_C} = 10$ и $m_C = 2^\circ$ в табл. 2 [2] можно определить $\frac{m_B}{B_C} = 1,35$, следовательно, $m_B = 1,35B_C$. При ширине судна (B_C) = 16,5 м математическое ожидание ширины полосы движения судна составит $m_B = 22,275$ м. А общее значение m_{Σ} составит $m_{\Sigma} = 5 + 22,275 = 27,275$ м.

Для соотношения размеров судна $\frac{L_C}{B_C} = 10$ и $\sigma_C = 2^\circ$ в табл. 3 [2] можно определить $\frac{\sigma_B}{B_C} = 0,348$, следовательно $\sigma_B = 0,348B_C$. При ширине судна (B_C) = 16,5 м среднее квадратическое отклонение ширины маневренной полосы движения судна $\sigma_B = 5,742$ м. По формуле (3) находится $\sigma_{\Sigma} = \sqrt{1^2 + 5,742^2} = \sqrt{33,97} = 5,828$ м.

Тогда значение вероятности безопасного прохода узкости при допустимой ширине 40 м составит

$$2\Phi\left(\frac{a - m_{\Sigma}}{\sigma_{\Sigma}}\right) = 2\Phi\left(\frac{40 - 27,275}{5,828}\right) = 2\Phi\left(\frac{12,725}{5,828}\right) = 2\Phi(2,183).$$

В приложении 2 [1] находятся значения функции Лапласа $\Phi(2,183) = 0,486$, для $2\Phi(2,183) = 0,972$. Следовательно, значение навигационного риска при проходе узкости шириной 40 м составляет $1 - 0,972 = 0,028 = 2,8 \cdot 10^{-2}$.

Выводы

Уточнены основные навигационные параметры, характеризующие безопасность прохода судов в узкости.

Показана методика оценки навигационных рисков с учетом изменчивости основных навигационных параметров движения судна.

Список литературы

1. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. — М.: КНОРУС, 2010. — 480 с.
2. *Некрасов С. Н.* Оценка навигационных рисков при проектировании Ново-Адмиралтейского моста / С. Н. Некрасов, Ю. Г. Андреев. — 2012.
3. *Справочник по вероятностным расчетам* / Г. Г. Абезгауз [и др.]. — М.: Воениздат, 1970.

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

УДК 621.316.722; 621.316.726

А. Е. Егоров,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ И ЧАСТОТЫ СУДОВЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

MATHEMATICAL MODELS OF ELECTRONIC VOLTAGE AND FREQUENCY REGULATORS OF SHIPS GENERATORS

В статье приведены особенности современных электронных регуляторов напряжения и частоты судовых дизель-генераторных агрегатов. Предложены математические модели таких регуляторов. Данные модели могут использоваться при моделировании судовых электроэнергетических систем в различных режимах работы.

The features of modern electronic regulators of voltage and frequency, which are used in ships diesel-generator units, are presented in the article. The mathematical models of such regulators are offered. The given models can be used at modeling of ships electrical systems in various operating modes.

Ключевые слова: математическая модель, электронный регулятор напряжения, электронный регулятор частоты вращения, дизель-генераторный агрегат.

Key words: mathematical model, electronic voltage regulator, electronic speed governor, diesel-generator unit.



ЛЯ обеспечения постоянства напряжения и частоты электрической энергии в судовых электроэнергетических системах (СЭЭС) с дизель-генераторными агрегатами (ДГА) используются автоматические регуляторы напряжения (АРН) и частоты вращения (АРЧВ) приводного дизельного двигателя.

В настоящее время на судах старой постройки находят применение регуляторы напряжения статического типа прямого компаундирования с коррекцией напряжения, а также центробежные механические и гидромеханические регуляторы частоты вращения приводного дизеля, которые зарекомендовали себя как надежно работающие регулирующие устройства. Их математические модели широко представлены в отечественной научной литературе [1]. Однако функциональные возможности таких регуляторов ограничены, в связи с этим совершенствование современных систем автоматического регулирования (САР) и систем автоматического управления (САУ) судовых электростанций (СЭС) идет по пути использования электронных регуляторов на микропроцессорной основе. С применением электронных регуляторов в САР и САУ СЭС обеспечивается новый, качественно более высокий уровень, позволяющий реализовать более сложные алгоритмы управления СЭС и обеспечить недостижимые ранее показатели качества электрической энергии в судовой сети. Необходимым условием для улучшения качества процесса регулирования является оптимизация как структуры регулятора, так и его параметров. Структура и параметры регуляторов напряжения и частоты определяют характер процессов в СЭЭС в различных режимах работы. Для исследования процессов в СЭЭС с помощью компьютерного моделирования необходимы модели автоматических регуляторов напряжения и частоты, учитывающие их основные особенности. Таким образом, актуальной научной задачей является разработка математических моделей электронных регуляторов напряжения и частоты судовых генераторных агрегатов.

Для составления математических моделей прежде всего необходимо исследовать сам объект моделирования. ДГА с электронными автоматическими регуляторами напряжения и частоты используются в качестве источников электрической энергии в современных единых высоковольтных судовых электроэнергетических системах (ЕВСЭЭС) с комплексами Azipod. Структурная схема такого генераторного агрегата приведена на рис. 1.

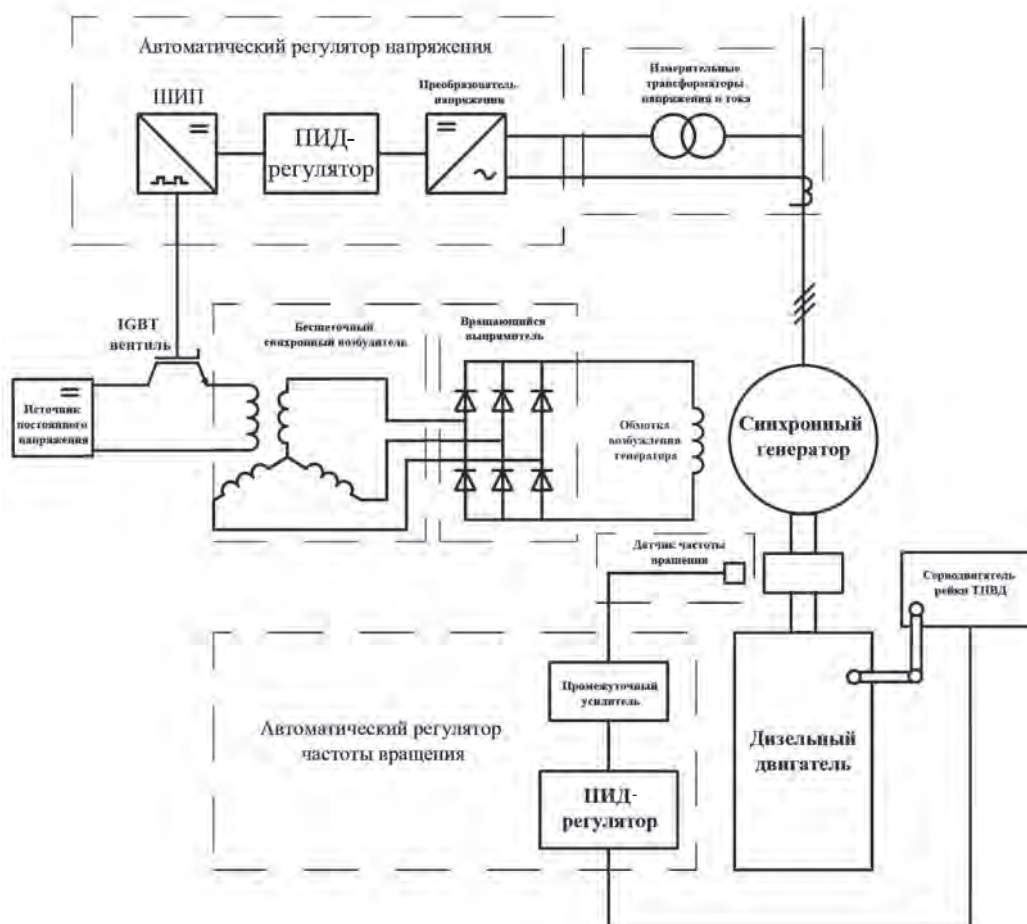


Рис. 1. Структурная схема дизель-генераторного агрегата современной ЕВСЭЭС

Для регулирования напряжения возбуждения таких генераторов используется электронный импульсный регулятор постоянного тока, который преобразует постоянное напряжение источника питания в регулируемое напряжение обмотки возбуждения синхронного возбудителя. В таких преобразователях используются силовые полупроводниковые управляемые ключи IGBT-транзисторы, а регулирование напряжения в них происходит за счет широтно-импульсной модуляции напряжения источника питания.

Управляющие сигналы на полупроводниковый вентиль поступают от электронного автоматического регулятора напряжения (АРН), который состоит из преобразователя в цифровые сигналы измеряемых параметров генератора, поступающих с измерительных трансформаторов напряжения и тока; цифрового ПИД-регулятора и широтно-импульсного преобразователя (ШИП), формирующего сигналы управления силового ключа IGBT (рис. 1).

Основой электронного автоматического регулятора частоты вращения (АРЧВ) приводного дизельного двигателя также является ПИД-регулятор. Заметим, что автоматические регуляторы частоты и напряжения являются основными элементами систем автоматического распределения активной и реактивной нагрузок параллельно работающих синхронных генераторов (СГ).

Разрабатывая математическую модель электронного автоматического регулятора напряжения на основе электронного ПИД-регулятора и силового полупроводникового IGBT-вентилля, необходимо учесть их характерные особенности.

Назначение ПИД-регулятора заключается в поддержании заданного значения $u_{\text{зад}}$ некоторой входной величины путем ее сравнения с выходным текущим значением $u_{\text{вых}}$, которое осуществляется с помощью сигнала отрицательной обратной связи $u_{\text{о.с.}}$. Разность этих двух величин $e = (u_{\text{зад}} - u_{\text{о.с.}})$ называется рассогласованием или отклонением от заданной величины.

В дальнейшем будем рассматривать обобщенный ПИД-регулятор с реальным дифференцирующим звеном. Передаточная функция этого регулятора определяется выражением

$$W_p(p) = K_{PR} + \frac{K_{IR}}{p} + \frac{pK_{DR}}{1 + T_{DR}p}, \quad (1)$$

где K_{PR} , K_{IR} , K_{DR} — коэффициенты усиления пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих регулятора соответственно; T_{DR} — постоянная времени дифференцирования.

Структурная модель с передаточными функциями звеньев, иллюстрирующая принцип работы ПИД-регулятора, представлена на рис. 2.

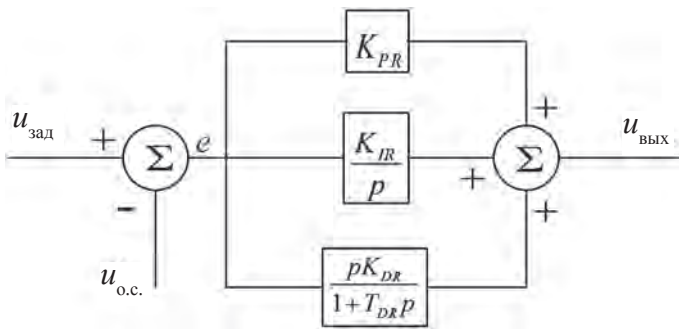


Рис. 2. Структурная модель ПИД-регулятора

Основная передаточная функция, описывающая силовой полупроводниковый IGBT-вентиль электронного регулятора, который выполняет функцию усилителя сигнала ПИД-регулятора, имеет вид

$$W_p(p) = \frac{K_A}{1 + T_A p}, \quad (2)$$

где K_A — коэффициент усиления напряжения; T_A — постоянная времени.

Для нормальной работы регулятора должны быть указаны предельные значения выходного напряжения $u_{R\max}$ и

$u_{R\min}$ для предупреждения ситуаций перевозбуждения и недовозбуждения генератора. Блок ограничения — это стабилизирующий элемент, логические условия работы которого могут быть описаны следующим образом:

$$u_{R\min} \leq u_i \leq u_{R\max}, \quad (3)$$

при $u_i > u_{R\max}$, тогда $u_i = u_{R\max}$;

при $u_i < u_{R\min}$, тогда $u_i = u_{R\min}$.

Также модель АРН необходимо дополнить элементом, описывающим измерительный преобразователь переменного напряжения генератора в сигналы постоянного тока, адаптированные для ПИД-регулятора.

Преобразователь напряжения преобразует сигналы с измерительных трансформаторов в цифровые, его передаточную функцию можно также выразить через апериодическое звено первого порядка:

$$W_R(p) = \frac{K_R}{1 + T_R p}, \quad (4)$$

где K_R — коэффициент пропорциональности (усиления) преобразователя; T_R — постоянная времени преобразователя; p — оператор дифференцирования.

Структурная модель электронного автоматического регулятора напряжения, созданная на основе математических моделей его основных элементов, представлена на рис. 3.

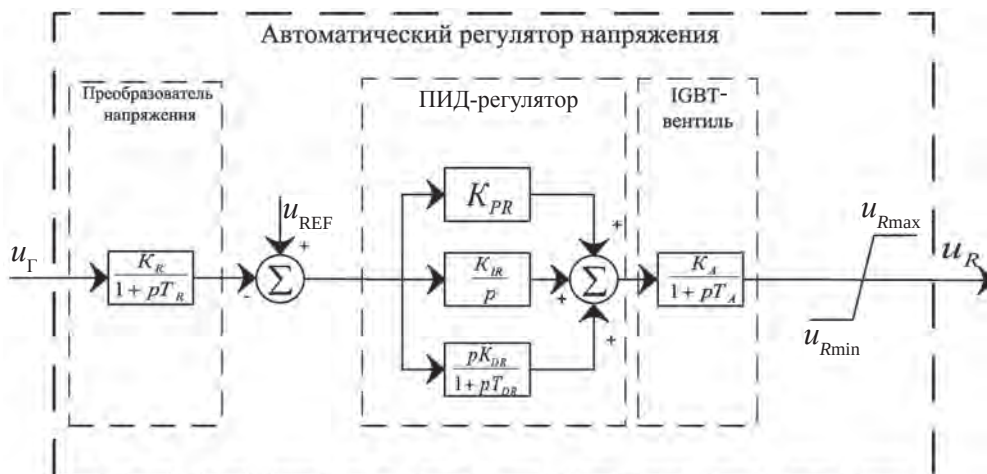


Рис. 3. Структурная модель электронного АРН

В данной модели: u_T — текущее напряжение генератора; u_{REF} — напряжение уставки; u_R — выходной сигнал с регулятора, подаваемый в систему возбуждения самого генератора.

Учитывая, что выходное напряжение с регулятора равно напряжению возбуждения бесщеточного возбудителя $u_R = u_{f1}$, математическая модель электронного АРН БСГ примет вид

$$\left. \begin{aligned} u_{f1} &= \frac{K_A}{1 + pT_A} \left(K_{PR} + \frac{K_{IR}}{p} + \frac{pK_{DR}}{1 + pT_{DR}} \right) \left(\frac{K_R}{1 + pT_R} \sqrt{u_d^2 + u_q^2} - u_{REF} \right); \\ u_{Rmin} &\leq u_{f1} \leq u_{Rmax}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

В математической модели приводного дизельного двигателя с электронным автоматическим регулятором частоты вращения регулировочным параметром дизеля как объекта системы автоматического регулирования является частота вращения его вала. К валу двигателя приложены с одной стороны вращающий момент двигателя, а с другой — электромагнитный момент СГ и момент инерции.

Регулирующее воздействие двигателя создается регулирующим органом, изменяющим количество топлива, от которого непосредственно зависит вращающий момент первичного двигателя. Для дизельного двигателя регулирующим органом является рейка топливных насосов высокого давления (ТНВД).

Выбор структуры АРЧВ и закона регулирования определяется несколькими факторами. В современных СЭС приводные дизельные двигатели синхронных генераторов оснащены цифровыми ПИД-регуляторами частоты вращения. При разработке структурной модели такого регулятора удобно воспользоваться моделью, представленной на рис. 2. В дополнение к этому необходимо также добавить блок, описывающий сервомеханизм рейки ТНВД, в качестве которого могут использоваться исполнительные электродвигатели, а также электрогидравлические агрегаты. В этом случае наиболее удобно описать данный элемент с помощью аperiodического звена первого порядка:

$$W_M(p) = \frac{K_M}{1 + pT_M}, \quad (6)$$

где T_M — электромеханическая постоянная времени серводвигателя; K_M — коэффициент усиления серводвигателя.

Сам же дизельный двигатель вносит некоторое запаздывание с момента изменения положения рейки ТНВД до соответствующего изменения частоты вращения его вала, связано это со временем на протекание химических процессов внутри камеры сгорания, а также с инерцией механических узлов. Поэтому предпочтительнее представить дизельный двигатель как звено чистого запаздывания с передаточной функцией, имеющий вид

$$W_D(p) = e^{-pT_D}, \quad (7)$$

где T_D — постоянная времени дизеля.

На рис. 4 представлена структурная модель электронного ПИД-регулятора частоты вращения в сочетании с серводвигателем рейки ТНВД и моделью дизельного двигателя.

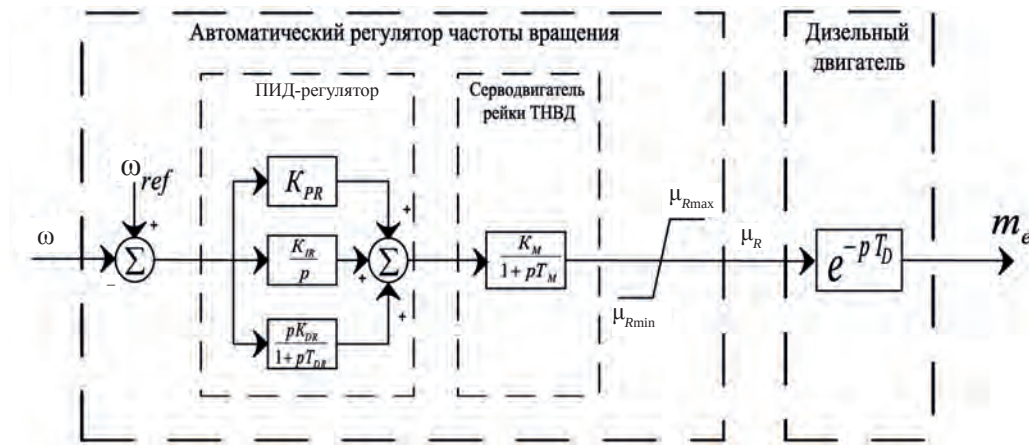


Рис. 4. Структурная модель дизельного двигателя с регулятором частоты вращения:

ω — текущая частота вращения дизеля; ω_{ref} — частота вращения уставки;
 μ_R — относительное положение рейки ТНВД; m_e — момент на валу дизеля

Учитывая, что относительная разность частот есть скольжение генератора, математическая модель электронного автоматического регулятора частоты вращения будет иметь вид

$$\left. \begin{aligned} \mu_R &= \frac{K_M}{p(1+pT_M)} \left(K_{PR} + \frac{K_{IR}}{p} + \frac{pK_{DR}}{1+pT_{DR}} \right) (\omega_{ref} - \omega); \\ m_e &= \mu_R e^{-pT_D}; \\ \mu_{Rmin} &\leq \mu_R \leq \mu_{Rmax}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Выводы. В данной статье автором разработаны и предложены математические модели электронных регуляторов напряжения и частоты генераторных агрегатов, используемых в современных ЕВСЭЭС с комплексами Azipod перспективных судов. Предложенные модели совместно с моделью высоковольтного бесщеточного синхронного генератора могут использоваться в составе математической модели ЕВСЭЭС при компьютерном моделировании ее нормальных и аварийных режимов работы.

Список литературы

1. Баранов А. П. Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации: учебник для вузов / А. П. Баранов, М. М. Раимов. — СПб.: ЭЛМОР, 1997. — 232 с.
2. Герман-Галкин С. Г. Проектирование мехатронных систем на ПК / С. Г. Герман-Галкин. — СПб.: Корона-Век, 2008. — 367 с.
3. IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies // IEEE Standard. — 2005. — Vol. 421, № 5 (Rev. of IEEE 521.5-1992).

УДК 621.431.7

Д. И. Слободянюк,
канд. техн. наук, профессор
Одесская национальная морская академия (Украина);

М. А. Колегаев,
канд. техн. наук, профессор,
Одесская национальная морская академия (Украина);

А. А. Горюк,
канд. техн. наук, доцент,
Одесская национальная морская академия (Украина)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИЗОТЕРМЫ РАСКЛИНИВАЮЩЕГО ДАВЛЕНИЯ В ПЛЕНКАХ ЦИЛИНДРОВОГО МАСЛА СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ

EXPERIMENTAL ISOTHERMS OF THE DISJOINING PRESSURE IN THE CYLINDER OIL FILMS OF MARINE DIESEL ENGINE

Представлены результаты изучения расклинивающего давления в тонких масляных пленках цилиндрического масла нефтяного происхождения (ENERGOL CLO 50M) судового малооборотного дизеля на стали и поршневом кольце из серого чугуна.

Here are presented the results of the study of the disjoining pressure in thin cylinder oil films of petroleum origin (ENERGOL CLO 50M) marine low-speed diesel engine, on steel and piston ring made of grey cast iron.

Ключевые слова: изотерма, давление, масляная пленка, анизотропия, эллисометрия, цилиндропоршневая группа, дизель.

Key words: isotherm, pressure, oil film, anisotropy, elipsometriya, cylinder and piston group, diesel.

ПОВЫШЕНИЕ эффективности эксплуатации современных судовых малооборотных дизелей (МОД) требует совершенствования управления процессами трения сопряженных деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) и защиты от аварийных ситуаций. Рост удельных мощностей в двигателестроении снижает долговечность деталей цилиндропоршневой группы судового дизеля. Изнашивание и поломка компрессионных колец малооборотных дизелей форсированного ряда является наиболее частой причиной их функционального отказа, однако причины этого явления до настоящего времени недостаточно изучены. В работе приведены данные, свидетельствующие о том, что поломка поршневых колец, в частности, может происходить в момент прохождения продувочных окон в результате нарушения смазки [1, с. 126–133].

Анализ литературы показал, что на современных судах проводится мониторинг состояния и выполнения функций отдельными ответственными деталями ЦПГ, основанный на методах виброакустической диагностики [2; 3]. Однако в применяемых системах мониторинга состояния поршневых колец нет информации о процессах взаимодействия сопряжения «кольцо–втулка» при малых скоростях движения. Особенностью этого процесса является то, что в момент прохождения продувочных окон режим смазки не является гидродинамическим. В тонком смазочном слое за счет структурирования молекул пристенных слоев возникает расклинивающее давление, препятствующее возникновению адгезионного контакта между поршневым кольцом и перемычками окон втулки [4, с. 741–753; 5, с. 438–448; 6, с. 90–101].

Теоретическое исследование процессов движения кольца в районе продувочных окон для случая разделения деталей пленкой с анизотропными свойствами, в частности расчет частоты акустических колебаний при диагностировании технического состояния поршневого кольца, не

представляется возможным без экспериментально полученного значения расклинивающего давления в этой пленке [7, с. 58–67].

Таким образом, отсутствие исследований свойств тонких пленок смазывающих материалов является сдерживающим фактором совершенствования надежности судовых МОД путем корректировки технического обслуживания в зависимости от смазки, а также предупреждения внезапных отказов от поломок колец по результатам виброакустического диагностирования, поэтому данные исследования являются актуальными.

Цель работы — экспериментальное исследование расклинивающего давления в тонких масляных пленках нефтяного происхождения на поверхности стальных и чугунных материалов, используемых в дизелестроении.

Исследования проводились на типичном для СДВС цилиндровом масле фирмы “ENERGOL” CLO 50M на материале поршневого кольца, взятого с главного двигателя MAN B&W 7S46MC-C и стали ШХ15.

Металлографический анализ показал, что кольцо состоит из серого чугуна, основа которого имеет ферритоперлитную структуру. Твердость кольца HB2770. Чугунная поверхность шлифовалась до величины $R_a 0,4 \div 0,6$, что соответствует чистоте поверхности кольца и ребер.

Исследования главных характеристик пленок-изотерм расклинивающего давления проводились на экспериментальной эллипсометрической установке, схема которой показана на рис. 1 [6].

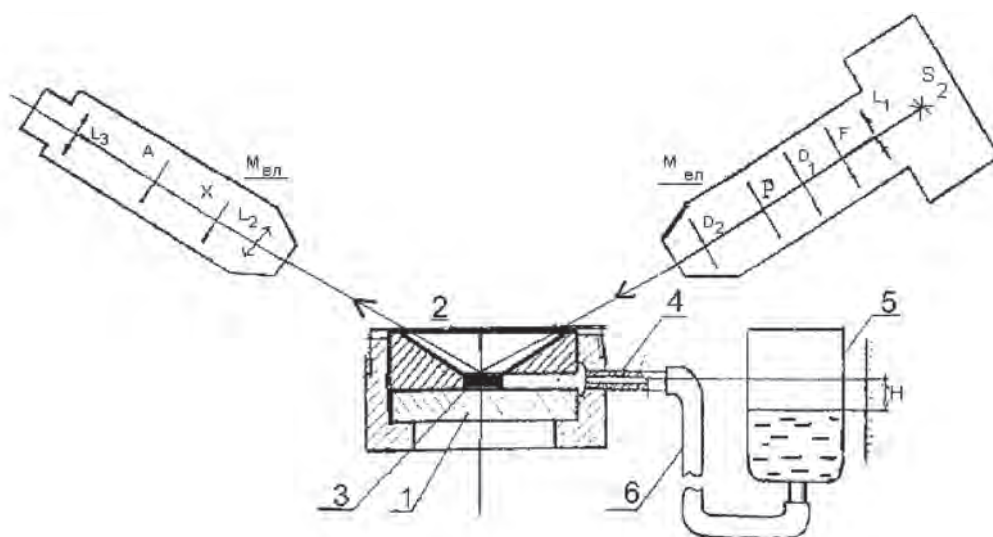


Рис. 1. Схема установки исследования изотерм расклинивающего давления в тонких пленках масла на металлических поверхностях

Ячейка, в которой изучалась пленка, была выполнена следующим образом. На полированный образец чугуна или стали 1 устанавливался стальной конус 2 с отверстием диаметром 1 мм, в котором формировалась пленка масла 3. В подложке изготовлялась канавка от пленки до штуцера 4, который соединялся шлангом 6 с напорным сосудом 5, в котором находилось исследуемое цилиндрическое масло.

Из теории Гиббса следует, что на границе любых смежных фаз существуют переходные слои, физико-химические свойства которых отличны от свойств объемной фазы. В случае перекрытия межфазных слоев гидростатическое давление в тонкой прослойке отличается от давления той объемной фазы, частью которой является пленка, то есть в тонкой пленке не выполняется закон Паскаля. Дополнительное давление, обеспечивающее термодинамическое равновесие пленки, было названо расклинивающим. Оно может быть как положительным, так и отрицательным. Зависимость $\Pi(h)$ — изотерма расклинивающего давления, является термодинамической характеристикой тонкой пленки жидкости [4; 5].

Для измерения расклинивающего давления с помощью внешнего давления необходимо обеспечить механическое равновесие смачивающей пленки. Если система находится в термодинамическом равновесии и расклинивающее давление положительно, то его мерой будет пониженное (отрицательное) давление, созданное в сопряженной объемной фазе путем опускания напорного сосуда и наоборот. В обоих случаях расклинивающее давление $\Pi(h)$ будет равно разности между давлением P_1 на поверхности и давлением P_0 в объемной фазе [6; 8].

$$P = \rho g(H_0 - H_1). \quad (1)$$

Здесь ρ — плотность масла. Величины H_1 и H_0 определялись с помощью микрометрического устройства соответственно с точностью $\Delta H = \pm 0,1$ мм, что приводило к ошибке расклинивающего давления $\Delta P = \pm 1$ Па.

Положение нулевого уровня H_0 в напорном сосуде, соответствующее моменту образования пленки из объемной фазы, определялось по состоянию интерференционных линий от пленки и устанавливалось для точки, в которой движение схождения и расхождения интерференционной картины прекращалось.

Толщина пленки h измерялась с помощью эллипсометрического микроскопа — $M_{эл}$. Методика эллипсометрических измерений толщин смачивающих неполярных пленок масла на проводящих металлических поверхностях разработана авторами и подробно описана в работе [6]. Эллипс поляризации отраженного света описывается эллипсометрическими углами Ψ и Δ , причем $\tan \Psi$ равен отношению изменению амплитуд p - и s -компонент, а Δ — относительной разности фаз между ними. В ходе эксперимента определялись азимуты анализатора A'_0 , A''_0 и поляризатора P'_0 , P''_0 гашения света.

Для расчета толщины слоя использовалось основное уравнение эллипсометрии — уравнение Друде, устанавливающее связь между экспериментальными параметрами Ψ и Δ и оптическими характеристиками отражающего образца, определяемыми обобщенными коэффициентами Френеля R_p и R_s [4]:

$$\tan \Psi \cdot e^{i\Delta} = \frac{R_p}{R_s}, \quad (2)$$

где Ψ — определяется отношением френелевских коэффициентов отражения для P и S поляризации, Δ — сдвиг фаз между P - и S -компонентами, возникающий при отражении; R_p , R_s — обобщенные коэффициенты Френеля для отраженного света.

Для рассматриваемого случая изотропного слоя выражение (2) принимает вид [Горшков] [5]:

$$\tan \Psi \cdot e^{i\Delta} = \frac{R_{12p} + R_{23p} e^{-2i\delta}}{1 + R_{12p} R_{23p} e^{-2i\delta}} \cdot \frac{1 + R_{12s} R_{23s} e^{-2i\delta}}{R_{12s} + R_{23s} e^{-2i\delta}}. \quad (3)$$

Здесь $\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} n_2 d \sin \varphi_2$, где d — искомая толщина слоя, а R_{12p} , R_{12s} , R_{23p} , R_{23s} определяются выражениями соответственно:

$$\begin{aligned} R_{12p} &= \frac{n_2 \cos \varphi_1 - \cos \varphi_2}{n_2 \cos \varphi_1 + \cos \varphi_2}; & R_{23p} &= \frac{n_3 \cos \varphi_2 - n_2 \cos \varphi_3}{n_3 \cos \varphi_2 + n_2 \cos \varphi_3}; \\ R_{12s} &= \frac{\cos \varphi_1 - n_2 \cos \varphi_2}{\cos \varphi_1 + n_2 \cos \varphi_2}; & R_{23s} &= \frac{n_2 \cos \varphi_2 - n_3 \cos \varphi_3}{n_2 \cos \varphi_2 + n_3 \cos \varphi_3}. \end{aligned} \quad (4)$$

Задача осложняется необходимостью учета эффектов ослабления электромагнитной волны в металлической подложке. В общем случае уравнение (3) сформулировано для неоднородных волн и может решаться путем введения комплексных показателей преломления, учитывающих эффекты затухания. В рассматриваемом случае $n_3 \Rightarrow N_3 = n_3 - i\kappa_3$, где n и κ — коэффициенты преломления и поглощения подложки. Для чугуна и стали были приняты следующие значения: $n = 3,9$, $\kappa = 6,96$.

Таким образом, уравнение (3) с учетом (4) и вышесказанного является комплексным выражением, и, следовательно, поиск толщины слоя означает решение системы уравнений:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} \left(\operatorname{tg} \psi \cdot e^{i\Delta} - \frac{(R_{12p} + R_{23p} e^{-2i\delta})(1 + R_{12s} R_{23s} e^{-2i\delta})}{(1 + R_{12p} R_{23p} e^{-2i\delta})(R_{12s} + R_{23s} e^{-2i\delta})} \right) &= 0, \\ \operatorname{Im} \left(\operatorname{tg} \psi \cdot e^{i\Delta} - \frac{(R_{12p} + R_{23p} e^{-2i\delta})(1 + R_{12s} R_{23s} e^{-2i\delta})}{(1 + R_{12p} R_{23p} e^{-2i\delta})(R_{12s} + R_{23s} e^{-2i\delta})} \right) &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Экспериментальные изотермы расклинивающего давления пленки масла на чугунной поверхности и стали ШХ15 шероховатостью ($R_a 0,4$), полученные при температуре 295 К, представлены на рис. 2 и 3.

Как видно из рисунков, изотермы, полученные на стальных и чугунных поверхностях в пленках масла, имеют вид, близкий к экспоненциальному, что соответствует работам Б. В. Дерягина и Ю. М. Поповского [4].

$$P = \frac{A}{h^3}, \quad (6)$$

где A — постоянная Гамакера.

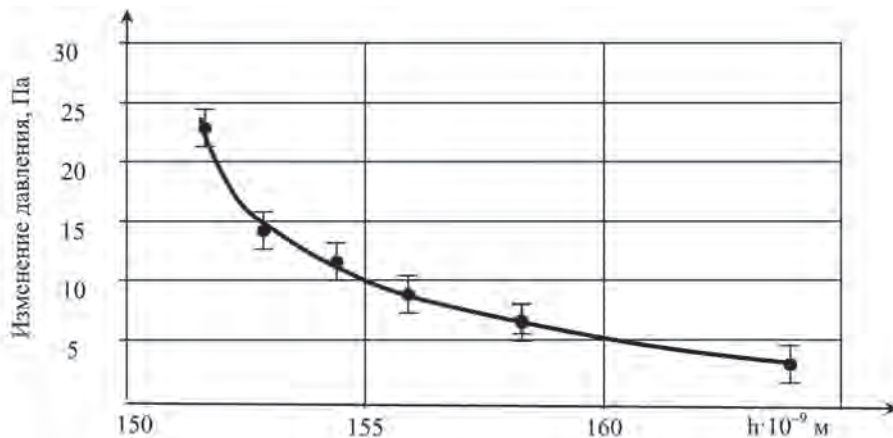


Рис. 2. Изменение расклинивающего давления в тонкой пленке смазки ENERGOL CLO 50M на чугунном поршневом кольце в зависимости от толщины пленки

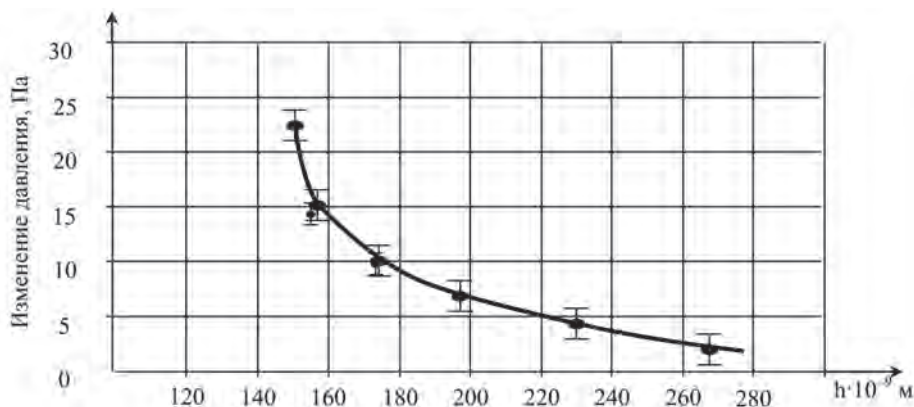


Рис. 3. Зависимость расклинивающего давления в масле ENERGOL CLO 50M от толщины пленки на стали ШХ15

Полученные изотермы в пленках масла на чугуне и стали соответствуют области положительных значений расклинивающего давления $\Pi_s > 0$ и носят падающий характер. Из этого следует, что расклинивающее давление в тонкой пленке может в режиме саморегулирования автоматически уравнивать нормальную нагрузку, воспринимаемую парой «кольцо–втулка».

Максимальное значение расклинивающего давления определялось из графика, построенного в полулогарифмических координатах зависимости $\ln P(h)$ от толщины пленки h . Для чугуна максимальная величина расклинивающего давления равна $\Pi(h) = 0,14$ МПа.

Сравнение полученных экспериментальных изотерм расклинивающего давления в пленках масла на стальных поверхностях и на чугуне показало следующее:

— зарождение пленок происходит при разных толщинах и давлениях в пленке. Пленка из объемной фазы на стали ШХ15 зарождается при толщине 270 нм при давлении $P = 8$ Па. При уменьшении толщины пленки до 200 нм давление возрастает незначительно. На сером чугуне пленка зарождается при значительно меньшей толщине, равной $163 \div 165$ нм;

— толщина пленок от начала образования пленки до момента резкого увеличения давления для сталей составляет 130 нм, что на порядок больше, чем на чугуне ($10 \div 12$ нм);

— минимальная толщина пленок на чугуне, при которой расклинивающее давление имеет максимальное значение, лежит в интервале 155–160 нм;

— установлено максимальное расклинивающее давление, возникающее в пленке цилиндровой смазки на чугуне, равное $\Pi_s = 0,14$ МПа;

Значение расклинивающего давления состоит из суммы молекулярной составляющей $\Pi_m(h)$, действующей при малых толщинах пленки, и структурной $\Pi_s(h)$:

$$\Pi(h) = \Pi_m(h) + \Pi_s(h).$$

Полученные результаты показывают значительное влияние химического состава подложки на изменение степени ориентационной упорядоченности молекул с изменением толщины пленки, которая определяет величину структурной составляющей $\Pi_s(h)$ расклинивающего давления. Очевидно, такое различие в полученных значениях $\Pi(h)$ можно объяснить разным вкладом молекулярной составляющей расклинивающего давления, который имеет существенное значение при малых толщинах пленок. Ранее эффект влияния молекулярной составляющей на величину расклинивающего давления установлен для пленок полярных жидкостей на диэлектриках [4; 7].

Анализ полученных значений расклинивающего давления показывает, что представление $\Pi_s(h)$ в виде экспоненты не всегда является корректным, а действительная зависимость структурной составляющей от толщины пленки является более сложной.

Анализ микрофотографий тонкой пленки масла на чугунной поверхности (рис. 4) показывает, что пленка не является плоской. Интерференционную картину на чугуне формируют графитовые включения, что хорошо видно на рис. 4, б.

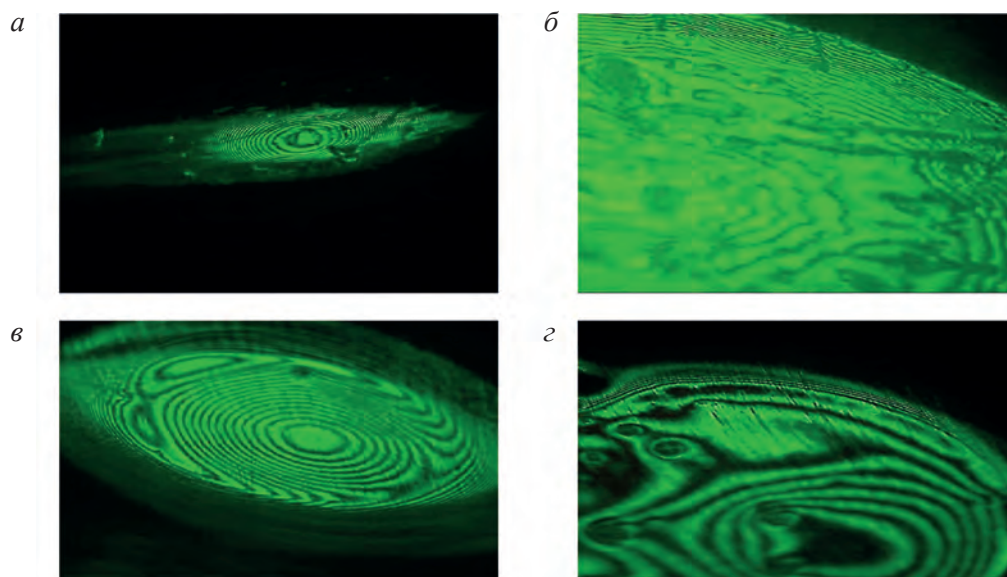


Рис. 4. Микрофотографии пленки масла на чугуне: а — зарождение пленки; б — пленка минимальной толщины; в — зарождение пленки на стали ШХ15; г — пленка минимальной толщины на стали ШХ15

Управление силами в смазочных слоях с анизотропными свойствами, обусловленными расклинивающим давлением, позволяет компенсировать нормальную нагрузку на зону трения, в результате чего можно уменьшить энергетические потери и величину изнашивания сопряженных поверхностей, а также предупредить поломку поршневых колец при малых скоростях движения поршня, предупредив аварийную ситуацию на судне.

Выводы

1. Впервые экспериментально получены изотермы расклинивающего давления в пленках цилиндрического масла на чугуне и стали, которые соответствуют области положительных давлений $P_s > 0$, то есть в тонкой пленке цилиндрической смазки возникает сила, направленная в противоположную сторону давления кольца на перемычку окна втулки цилиндра.

2. Установлено, что изотермы расклинивающего давления в пленках цилиндрического масла на чугунных и стальных поверхностях носят падающий характер, чем обеспечивается процесс саморегулирования давления поршневого кольца на втулку — каждому новому значению давления устанавливается новая равновесная толщина пленки. Процесс саморегулирования происходит автоматически и не требует вмешательства оператора.

3. Анализ экспериментальных изотерм расклинивающего давления в пленках масла на стальных поверхностях и на чугуне показал следующее:

— зарождение пленок происходит при разных толщинах и давлениях в пленке. Пленка из объемной фазы на стали ШХ15 зарождается при толщине 270 нм при давлении $P = 8$ Па. При уменьшении толщины пленки до 200 нм давление возрастает незначительно. На сером чугуне пленка зарождается при значительно меньшей толщине, равной $163 \div 165$ нм.

— толщина пленок от начала ее образования до момента резкого увеличения давления для сталей составляет 130 нм, что на порядок больше, чем на чугуне ($10 \div 12$ нм);

— минимальная толщина пленок на чугуне, при которой расклинивающее давление имеет максимальное значение, лежит в интервале 155–160 нм, для стали — в интервале 150–155 нм;

— установлено максимальное расклинивающее давление, возникающее в пленке цилиндрической смазки на чугуне, равное $P_s = 0,14$ МПа;

Практическая значимость исследований заключается в том, что полученные результаты используются авторами для разработки методики идентификации технического состояния поршневого кольца методом виброакустической диагностики с целью совершенствования технического обслуживания и предупреждения внезапных отказов, возникающих при поломке колец.

Дальнейшее развитие теоретического исследования процессов движения поршневых колец при наличии тонких пленок смазки с анизотропными свойствами, используя полученные данные расклинивающего давления на чугуне и стали, позволит повысить надежность судовых малооборотных дизелей путем корректировки технического обслуживания в зависимости от смазки, а также предупреждения внезапных отказов, возникающих при поломке колец.

Список литературы

1. Ханмамедов С. А. Совершенствование методов идентификации технического состояния поршневых колец судовых МОД / С. А. Ханмамедов, Д. И. Слободянюк // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. — Одесса: ОНМА, 2011. — № 26.

2. Hellingman G. J. Shipboard investigations with Selected Fuels of Tomorrow / G. J. Hellingman, S. Barrow // CIMAC. — Helsinki, 1981.

3. Neate R. J. SIPWA-A Shipowner's Point of View / R. J. Neate, S. Barrow. — New Sulzer Diesel Ltd., 1990. — Dec.

4. *Дерягин Б. В.* Свойства тонких слоев жидкостей / Б. В., Дерягин М. М. Кусков // Изв. АН СССР. Сер. «Химия». — 1936. — № 5.
5. *Дерягин Б. В.* К вопросу об определении понятия расклинивающего давления / Б. В. Дерягин, Н. В. Чураев // Коллоидный журнал. — 1976. — Т. 38, № 3.
6. Изотермы расклинивающего давления в структурированной пленке цилиндрического масла судового дизеля / С. А. Ханмамедов [и др.] // Проблемы техники. — 2011. — № 1.
7. *Слободянюк Д. И.* Расчет частоты импульсов акустического сигнала от сопряжения «кольцо–втулка» ЦПГ МОД с учетом расклинивающего давления в тонких пленках смазки / Д. И. Слободянюк, С. А. Ханмамедов, К. С. Шакур // Судовые энергетические установки: сб. науч. тр. — Одесса: ОНМА, 2011. — № 29.
8. *Горюк А. А.* Исследование структурной составляющей расклинивающего давления в смазывающих пленках нитробензола: дис. ... канд. физ.-мат. наук / А. А. Горюк. — Одесса, 1988. — С. 122.

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

УДК 629.122

Е. П. Копцева,
канд. экон. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

А. Н. Лазарев,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА СУДОВ

A BRIEF REVIEW OF EXISTING METHODS FOR ASSESSING THE PHYSICAL DETERIORATION OF VESSELS

Актуальность работы обусловлена необходимостью структурировать возможные методы физического износа для целей оценки рыночной стоимости судов. В статье рассмотрены алгоритмы расчета физического износа судов. Представлен сравнительный анализ оценки и общая классификация существующих методов определения физического износа судов.

Relevance of the work stems from the need to structure for the purpose of assessing the market value of vessels possible methods of physical deterioration. The algorithms calculate the physical deterioration of vessels. A comparative analysis and evaluation of the overall classification of existing methods for the determination of the physical deterioration of vessels.

Ключевые слова: физический износ, срок службы, метод оценки, потребительские свойства, ремонтный цикл.

Key words: physical deterioration, the life duration, the method of evaluation, consumer characteristics, repair cycle.



ЛЯ оценки физического износа любых технических средств, а следовательно, и судов можно использовать следующие методы:

- а) прямые:
 - метод фактического возраста;
 - метод ремонтных издержек;
- б) экспертные:
 - общий метод;
 - поэлементный метод;
- в) статистические:
 - метод снижения доходности;
 - метод стадии ремонтного цикла;
- г) расчетно-аналитические:
 - метод снижения потребительских свойств;
 - стоимостной метод.

Прямые методы достаточно просты в применении, не требуют наличия специфичной информации, которую порой сложно получить.

В частности, метод фактического возраста базируется на определении срока полезной жизни объекта, то есть срока службы.

Срок службы — период времени (службы) от даты постройки до даты вывода из эксплуатации [5; гл. 7]. На фактический срок службы судов могут влиять многие обстоятельства:

- продолжительность среднегодового эксплуатационного периода;
- соблюдение судовладельцем правил технической эксплуатации и ремонта;
- условия эксплуатации;
- нормативные и законодательные акты, регламентирующие сроки службы судов.

На продолжительность полезной жизни также могут влиять технологические улучшения в области эксплуатации флота, технический прогресс, возможные изменения экономических условий, изменения таможенных и международных правил и другие причины [3, с. 4].

Кроме того следует учитывать тот факт, что в настоящее время продолжительность нормативного срока судов (срока полезного использования) может изменяться и самим пользователем.

Физический износ на основе метода фактического возраста определяется по формуле

$$Ph = \frac{T_{\phi}}{T_n} \cdot BC, \quad (1)$$

где T_{ϕ} — фактический возраст судна;
 T_n — нормативный срок службы судна;
 BC — восстановительная стоимость судна.

Срок T_n определяется из технической документации или устанавливается по нормативам, а значение T_{ϕ} соответствует «историческому» возрасту судна. Этот метод основан на предположении наличия обратной зависимости между остаточной стоимостью судна и его возрастом.

В качестве нормативного должен приниматься оптимальный срок службы судов, который чаще всего определяется одним из следующих двух методов:

1) расчет средних статистических значений сроков службы по данным о списании судов одного типоразмера. Статистический метод установления сроков службы отражает данные прошлых лет и не всегда правилен при определении сроков службы судов нового типоразмера с большими значениями T_n ;

2) второй метод основан на экономических оценках изменения отдельных составляющих эксплуатационных затрат при изменениях длительности использования судов. Известно, что сумма отдельных среднегодовых статей затрат, переносимая на продукцию транспорта, изменяется по-разному: сумма одних статей затрат уменьшается с увеличением нормативного срока службы (например, затраты на полное восстановление судна), а других возрастает (например, затраты на ремонт, модернизацию, расходы на топливо и т. д.). Экономически целесообразным (оптимальным) считается такой срок службы, которому соответствует минимальный размер совокупных затрат [2, с. 8–10].

В настоящее время эксплуатируется большое количество флота, уже отработавшего свой нормативный срок (около 58 % судов). Для таких судов $T_{\phi} > T_n$, и поэтому метод фактического возраста для оценки физического износа для них вообще неприемлем.

Метод ремонтных издержек определения износа применим в тех случаях, когда можно рассчитать затраты $З_{в.р.}$, которые необходимо произвести для того, чтобы произвести восстановительный ремонт судна с целью довести его до состояния нового судна. Таким образом, физический износ приравнивается к затратам на ремонт:

$$Ph = З_{в.р.} \quad (2)$$

Но при этом возможны варианты, когда $З_{в.р.} \geq BC$, то есть построить новое судно будет дешевле, чем отремонтировать старое и довести его до состояния нового. Применить данный метод для определения физического износа судов можно только на начальных стадиях их эксплуатации, то есть при $T_{\phi} < T_n$.

Экспертные методы основываются на суждении технических специалистов-экспертов о фактическом состоянии судна в целом, исходя из его внешнего вида и технического состояния, конструктивных элементов и других факторов. Экспертные методы требуют высокого уровня знаний в области конструкции судна, судовых машин и оборудования и законов изменения эксплуатационных характеристик конструктивных элементов от возраста.

Общий метод предусматривает привлечение специалистов для определения физического состояния судна в соответствии с некоторой оценочной шкалой. Для повышения степени достоверности могут быть привлечены несколько экспертов, при этом результирующее значение износа определяется из зависимости

$$Ph = \sum Ph_i \cdot a_i, \quad (3)$$

где Ph_i — оценка уровня физического износа i -м экспертом;
 a_i — весомость мнения i -го эксперта.

Весомость мнений экспертов устанавливается из условия $\sum a_i = 1$.

Недостатком данного метода является то, что весомость мнений экспертов устанавливается субъективно.

Поэлементный метод предполагает определение значимости конструктивных элементов судна:

$$Ph = \sum Ph_i \cdot \gamma_i, \quad (4)$$

где Ph_i — физический износ i -го конструктивного элемента;
 γ_i — значимость i -го конструктивного элемента.

Недостатком данного метода также является субъективность мнения эксперта, но уже в определении значимости конструктивных элементов. Судно принципиально можно разделить на десятки и сотни тысяч элементов, что, естественно, увеличивает точность установления численных значений Ph_i , при этом значительно увеличивается трудоемкость процедуры оценки уровня физического износа.

Статистические методы применимы в тех случаях, когда имеется достоверная информация об изменении эксплуатационных и экономических показателей оборудования судна в ретроспективном периоде.

Метод снижения доходности базируется на допущении того, что нарастание физического износа пропорционально снижению доходности судна, то есть сокращению чистой прибыли, определяемой как разность между фактической выручкой и фактическими издержками. Величина Ph определяется из зависимости

$$Ph = \frac{\Pi_o - \Pi_t}{\Pi_o} \cdot BC, \quad (5)$$

где Π_o — фактическая прибыль, получаемая при эксплуатации нового судна;
 Π_t — годовая сумма фактической прибыли в возрасте судна $T_{\phi} = t$.

Отметим, что определение фактического размера прибыли для каждого судна в отдельности достаточно проблематично.

Метод стадии ремонтного цикла базируется на предположении снижения потребительских свойств элементов судна при возрастании физического износа. На рис. 1 представлена примерная зависимость потребительских свойств от наработки и проведенных ремонтов.

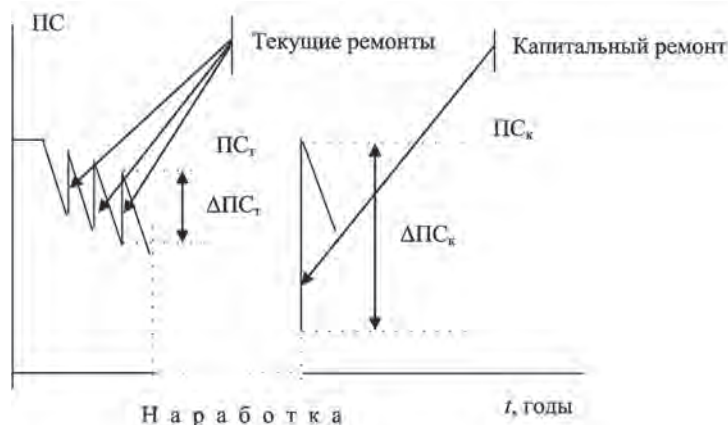


Рис. 1. Фактическое изменение потребительских свойств судна в процессе эксплуатации

Обозначим относительное снижение потребительских свойств к концу ремонтного цикла через ΔPC_{pc} , тогда в конце цикла значение потребительских свойств PC_{pc} составит

$$PC_{pc} = PC - \Delta PC_{pc} = PC - \chi_{pc} \cdot \Delta PC_{tr}, \quad (6)$$

где χ_{pc} — число текущих ремонтов в ремонтном цикле;
 ΔPC_{tr} — снижение потребительских свойств между двумя текущими ремонтами.

Капитальный ремонт повышает потребительские свойства на величину ΔPC_{kp} , таким образом, после его проведения:

$$PC_p = PC_p + \Delta PC_{kp}. \quad (7)$$

Длительность ремонтного цикла для судов регламентируется системой планово-предупредительных ремонтов (СППР), поэтому при допущении, что в отношении данного судна соблюдается СППР, задача расчета износа сводится к определению интенсивности снижения потребительских свойств $d PC$ за цикл.

Недостатком данного метода является то, что учитываются только капитальные и текущие ремонты, а капитальный ремонт судна в целом в настоящее время не проводится вообще. Не учитываются в этом методе средние (очередные) и доковые ремонты. Помимо этого, достаточно неоднозначно толкование понятия «потребительские свойства» отдельных элементов судна, что осложняет применение данного метода для расчета физического износа судов.

Расчетно-аналитические методы являются развитием статистических методов, но требуют проведения достаточно трудоемкой предремонтной дефектации и наличия технико-экономической и технологической документации по всем i -м элементам судна.

Метод снижения потребительских свойств отражает зависимость потребительских свойств элементов судна от их износа. Обобщенные потребительские свойства судна в целом PC_{Σ} определяются как сумма потребительских свойств отдельных элементов PC_i с учетом их весомости β_i :

$$PC_{\Sigma} = \sum PC_i \cdot \beta_i, \quad (8)$$

где $\sum \beta_i = 1$.

В процессе эксплуатации потребительские свойства снижаются на величину ΔPC_i , при этом износ выражается следующей формулой:

$$Ph = \sum \Delta PC_i \cdot \beta_i. \quad (9)$$

Стоимостной метод основан на определении физического износа отдельных элементов судна и суммировании полученных величин с учетом доли стоимости этих элементов в стоимости судна в целом.

Износ судна в целом определяется по выражению

$$Ph = \sum Ph_i \cdot h_i, \quad (10)$$

где Ph_i — физический износ i -го конструктивного элемента, установленный на основе обследования его фактического состояния, усл. ед.;

h_i — удельный вес стоимости i -го конструктивного элемента в общей стоимости восстановления, $\sum h_i = 1$.

Недостатком данного метода является трудоемкость его применения для речного судна, так как судно состоит из множества элементов. Помимо этого, нет нормативной базы для определения h_i .

Сравнительный анализ методов оценки физического износа представлен в табл. 1 [6, с. 54–55].

Таблица 1

Сопоставление методов оценки физического износа

Наименование метода	Достоверность	Сложность получения исходной информации	Необходимая квалификация экспертов	Трудоемкость проведения расчетов
1	2	3	4	5
Фактического возраста	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая
Ремонтных издержек	Средняя	Средняя	Средняя	Низкая
Общий	Низкая	Низкая	Высокая	Высокая
Поэлементный	Средняя	Средняя	Высокая	Высокая
Снижения доходности	Высокая	Высокая	Низкая	Низкая
Стадии ремонтного цикла	Средняя	Средняя	Средняя	Высокая
Снижения потребительских свойств	Высокая	Высокая	Средняя	Высокая
Стоимостной	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя

Ниже представлена общая классификационная схема методов определения физического износа судов (рис. 2) [1, с. 37].

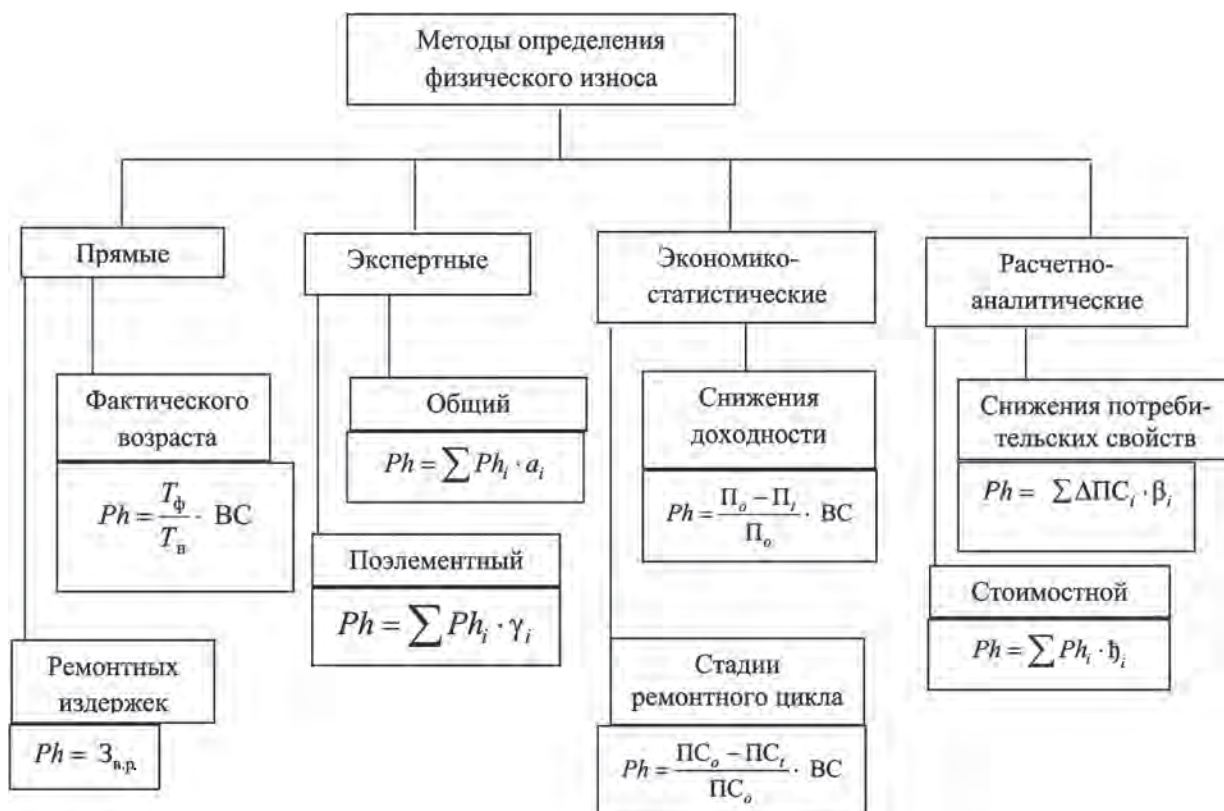


Рис. 2. Группировка методов оценки физического износа

Список литературы

1. *Копцева Е. П.* Анализ содержания понятий износа основных фондов / Е. П. Копцева // Экономика и государственное управление речным транспортом: сб. науч. тр. — СПб.: СПбГУВК, 1999.
2. *Копылова В. В.* Рынок недвижимости и оценка недвижимости: учеб. пособие / Мин-во общественного и профессионального образования РФ, Иркутская гос. экон. академия. — Иркутск: Изд-во ИГЭА, 1999. — 76 с.
3. *Лазарев А. Н.* Принципы дифференциации норм и нормативов отчислений в амортизационный и ремонтные фонды по судам речного флота / А. Н. Лазарев // Сб. науч. тр. — СПб.: СПбГУВК, 1994. — С. 3–12.
4. *Лазарев А. Н.* Амортизация судов и их воспроизводство в условиях рыночных отношений / А. Н. Лазарев // Экономика транспорта России / под ред. А. И. Муравьева. — СПб.: Изд-во СПУЭФ, 1992. — С. 49–53.
5. *Никифоров В. Г.* Исследование методических вопросов установления оптимальных сроков службы судов / В. Г. Никифоров. — Л., 1970. — 60 с.
6. *Копцева Е. П.* Экономическая оценка износа судов речного флота: дис. ... канд. экон. наук / Е. П. Копцева. — СПб., 2002. — С. 54–55.

УДК 629.12

А. Д. Гофман,

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

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРОВЕДЕНИЯ МОДЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ОПЫТОВЫХ БАСЕЙНАХ ОГРАНИЧЕННЫХ РАЗМЕРОВ

INTERPRETATION OF A SHIP MODEL TESTS RESULTS IN TOWING TANK WITH RESTRICTED SIZE

Автором предлагается новый метод корректировки данных модельного эксперимента по измерению буксировочного сопротивления в опытовых бассейнах малого и среднего размеров. Предлагаемый метод требует проведения дополнительных расчетов, не вызывающих затруднений при машинной обработке результатов испытаний и затруднительных при их ручной обработке. Проводится оценка достоверности методики путем сравнения данных, полученных на одной и той же модели в опытовых бассейнах разных размеров.

The author presents the new method of ship model resistance correction while measurements are given in small or medium towing tank. The method requires additional computations easily made with help of compute, but difficult to be made manually. Verification of the method on a base of comparisons of the model resistance in towing tanks of different size is also presented.

Ключевые слова: опытовый бассейн, буксировочное сопротивление, скорость буксировки, число Фруда по глубине, число Фруда по длине.

Key words: towing tank, resistance, towing speed, depth Froude number, length Froude number.

Введение

Опытовые бассейны для проведения буксировочных и самоходных испытаний моделей принято подразделять на три группы [4]:

- большие опытовые бассейны (длиной от 250 до 400 м и более);
- средние опытовые бассейны (длиной от 100 до 200 м);
- малые опытовые бассейны (длиной менее 100 м).

Более половины существующих бассейнов можно отнести к числу малых и средних, результаты испытаний в которых могут быть искажены вследствие влияния стенок и дна. Результаты измерений, выполненные в таких бассейнах, должны быть соответствующим образом откорректированы.

Один из методов подобной корректировки был разработан в Английской национальной физической лаборатории (NPL) в Теддингтоне при участии S. Shuster [2, s. 95–96; 3] и Л. С. Артюшкова [1].

Для разработки методики в бассейне NPL, имеющем длину 168 м, ширину 9,25 м и глубину 3,8 м, одновременно буксировалось несколько одинаковых моделей, расположенных на равных по ширине расстояниях друг от друга. Тем самым было обеспечено симметричное обтекание центральной модели, соответствующее обтеканию ее в условиях ограниченной по ширине свободной поверхности воды.

В ходе исследования авторами [1–3] были выявлены два фактора, влияющие на величину сопротивления корпуса:

- увеличение скорости обтекания модели, обусловленное стесненностью потока в бассейне, по сравнению со скоростью обтекания той же модели в условиях тихой глубокой воды;
- уменьшение скорости распространения поверхностных волн в бассейне по сравнению со скоростью распространения волн той же модели в условиях тихой глубокой воды.

Методика, разработанная авторами на основании этих исследований, позволяет рассчитать изменение скорости и внести соответствующие поправки в величину скорости. Аналогичный метод был рекомендован 13 МКОБ для приближенной оценки влияния стесненности потока.

В настоящей работе предлагается способ корректировки самой кривой буксировочного сопротивления модели, также упоминающийся в [4], однако практически не использующийся.

1. Расчет поправки на стесненность потока при обработке результатов испытаний в опытовых бассейнах

1.1. Расчет поправки при буксировке моделей, пересекающих свободную поверхность.

Предположим, что в бассейне с прямоугольной формой сечения шириной b и глубиной h испытывается модель длиной L , шириной B и осадкой T .

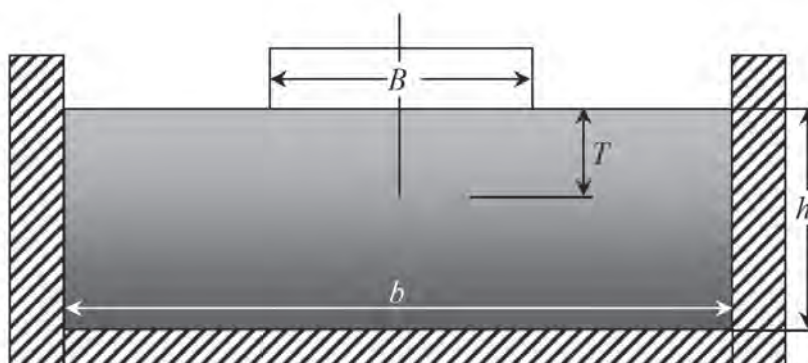


Рис. 1. Схема расположения надводной модели в бассейне

Скорость буксировки модели V варьируется в пределах от 0,1 до 2,5 м/с, что, как правило, соответствует числам Фруда $F_n = \frac{V}{\sqrt{gL}} < 0,3$.

Основные параметры, обуславливающие изменение величины буксировочного сопротивления, были выявлены в процессе испытаний масштабной серии судна «Виктори» [4]. В число этих параметров входят:

— коэффициент стесненности потока, определяющийся соотношением площади миделевого сечения модели и площади сечения бассейна, то есть

$$m_1 = \frac{A_m}{A_{\text{танк}}} = \frac{B \cdot T}{b \cdot h}; \quad (1)$$

— число Фруда по глубине

$$F_{nh} = \frac{V_m}{\sqrt{g \cdot h}}. \quad (2)$$

Изменение скорости обтекания корпуса модели, обусловленное стесненностью бассейна, неизбежно повлияет на величину полного буксировочного сопротивления.

Будем считать, что полное сопротивление модели равно сумме сопротивления трения и остаточного сопротивления, а безразмерные коэффициенты трения и безразмерного остаточного сопротивления $C_{\text{ост}}$ не зависят от стесненности потока.

Тогда сопротивление модели в безграничной жидкости определится выражением

$$R = R_f(V) + R_w(V) = \xi \cdot 0,5\rho V^2 \Omega + C_{\text{ост}} \cdot 0,5\rho V^2 \Omega, \quad (3)$$

а сопротивление модели в канале — выражением

$$R_{\text{ch}} = R_f(V_{\text{ch}}) + R_w(V_{\text{ch}}) = \xi \cdot 0,5\rho(V + \Delta V)^2 \Omega + C_{\text{ост}} \cdot 0,5\rho(V + \Delta V)^2 \Omega, \quad (4)$$

где V — скорость буксировки модели; ΔV — изменение скорости, обусловленное стесненностью потока.

Дополнительная сила, действующая на буксируемую в канале модель, определится формулой

$$\Delta R = R_{\text{ch}} - R = R \cdot \left(\frac{R_{\text{ch}}}{R} - 1 \right). \quad (5)$$

Вычитая из выражения (4) выражение (3) и проводя тождественные преобразования, получим формулу для расчета ΔR в виде

$$\Delta R = (-V^2 + (V + \Delta V)^2) \cdot (\xi + C_{\text{ост}}) \cdot 0,5\rho \Omega = (2V\Delta V + \Delta V^2) \cdot (\xi + C_{\text{ост}}) \cdot 0,5\rho \Omega$$

или

$$\Delta R = \left(2 \frac{\Delta V}{V} + \left(\frac{\Delta V}{V} \right)^2 \right) \cdot (\xi + C_{\text{ост}}) \cdot 0,5\rho \cdot V^2 \cdot \Omega. \quad (6)$$

Разделив обе части уравнения на величину $(\xi + C_{\text{ост}}) \cdot 0,5\rho \cdot V^2 \cdot \Omega$, определяющую величину продольной силы в безграничной жидкости, получим выражение для расчета поправки на стесненность канала в безразмерном виде:

$$\varepsilon_R = \frac{\Delta R}{R} = \left(2 \frac{\Delta V}{V} + \left(\frac{\Delta V}{V} \right)^2 \right), \quad (7)$$

где $\Delta V/V$ — отношение изменения скорости обтекания модели из-за стесненности канала ΔV к скорости буксировки V , соответствующей скорости буксировки модели в безграничной жидкости.

Величину $\Delta V/V$ можно определить по эмпирической формуле Шустера [2; 3], которая имеет вид

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{m_1}{1 - m_1 - F_{nh}^2} + \left(1 - \frac{R_f}{R} \right) \cdot \frac{2}{3} \cdot F_{nh}^{10} = \frac{m_1}{1 - m_1 - F_{nh}^2} + \left(\frac{\Delta R}{R} \right) \cdot \frac{2}{3} \cdot F_{nh}^{10}, \quad (8)$$

где m_1 — коэффициент стесненности потока, рассчитываемый по формуле (1); F_{nh} — число Фруда по глубине; R_{ch} — сопротивление модели в канале; R — сопротивление модели в безграничной жидкости.

После подстановки выражения (8) в выражение (7) и проведения тождественных преобразований получим уравнение для определения ε_R :

$$2 \cdot \left(\frac{m_1}{1 - m_1 - F_{nh}^2} - (\varepsilon_R) \cdot \frac{2}{3} \cdot F_{nh}^{10} \right) + \left(\frac{m_1}{1 - m_1 - F_{nh}^2} - (\varepsilon_R) \cdot \frac{2}{3} \cdot F_{nh}^{10} \right)^2 - \varepsilon_R = 0. \quad (9)$$

Формула для расчета сопротивления судна на глубокой воде по результатам испытаний модели в средних и малых бассейнах примет вид

$$R = \frac{R_{ch}}{1 + \varepsilon_R}. \quad (10)$$

1.2. Расчет поправки при буксировке подводных моделей.

Расчет поправки на стесненность потока в случае буксировки подводной модели выполняется по формулам (9) и (10).

Однако при расчете коэффициента стесненности потока m_1 и числа Фруда по глубине F_{nh} глубина бассейна уменьшается на величину заглубления модели под свободную поверхность, то есть

$$m_{1un} = \frac{A_m}{b \cdot (h - D)}, \quad (11)$$

$$F_{nhun} = \frac{V}{\sqrt{g(h - D)}}, \quad (12)$$

где A_m — площадь максимального сечения модели; D — глубина погружения модели под свободную поверхность (рис. 2).

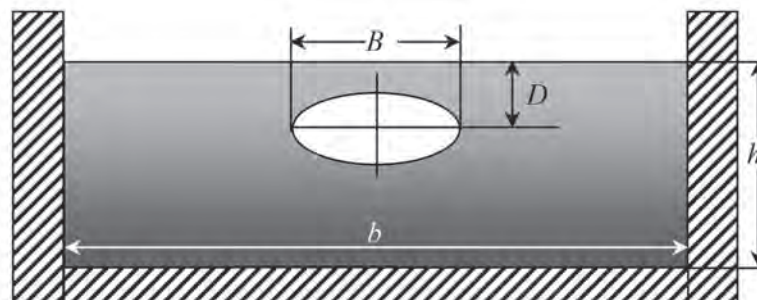


Рис. 2. Схема расположения подводной модели в бассейне

1.3. Расчет корректирующей поправки на примере водоизмещающего судна.

Для верификации методики была испытана модель водоизмещающего судна, имеющего следующие главные размерения:

- длина по КВЛ — 5,31 м;
- ширина — 1,192 м;
- осадка — 0,346 м;
- водоизмещение — 1,336 м³.

Скорость буксировки модели изменялась в пределах от 1 до 2,15 м/с, что соответствовало диапазону чисел Фруда: $0,14 \leq F_n \leq 0,3$.

Испытания проводились в опытовом бассейне ГУМРФ, имеющем следующие характеристики:

- длина бассейна — 120 м;

— ширина бассейна — 6,0 м;

— глубина бассейна — 3,0 м.

Размеры бассейна позволяют отнести его к числу средних бассейнов, результаты измерений буксировочного сопротивления в котором требуют корректировки данных измерения.

Таблица 1

Результаты измерения буксировочного сопротивления модели в разных бассейнах

Испытания в ГУМРФ			Испытания в KSRI	
$V(m/s)$	$R_{ch}(N)$	$R_{inf}(N)$	$V(m/s)$	$R_{inf}(N)$
1	2	3	4	5
1,086	23,41	22,49		
1,090	21,75	20,90		
1,190	32,99	31,66		
1,192	29,12	27,95		
1,305	40,91	39,21	1,45	49,6
1,395	48,10	46,05	1,50	53,7
1,403	39,26	37,59	1,55	58,0
1,490	54,92	52,52	1,60	62,7
1,493	54,00	51,64	1,65	67,7
1,576	63,58	60,74	1,70	73,1
1,670	82,01	78,26	1,75	78,8
1,674	86,81	82,83	1,80	85,0
1,681	77,59	74,03	1,85	91,5
1,763	88,19	84,05	1,90	98,5
1,862	100,81	95,95	1,95	106,0
1,972	106,16	100,89	2,00	113,9
2,030	130,48	123,91	2,05	122,4
2,088	144,31	136,93	2,10	131,3
2,113	146,15	138,62	2,15	140,8
2,159	145,04	137,48	2,20	150,9
2,247	180,25	170,63	2,25	161,5
2,262	178,96	169,38	2,30	172,8

Результаты измерения буксировочного сопротивления модели приведены в табл. 1 в зависимости от скорости буксировки. В столбцах 1–3 показаны данные для опытового бассейна ГУМРФ. В столбцах 4–5 показаны данные для опытового бассейна KSRI. Измерения проводились на одной и той же модели.

В столбце 2 приведены данные измерения на модели в канале. В столбце 3 приведены откорректированные данные с учетом влияния стесненности канала.

Ниже (рис. 3) приведены результаты сравнения буксировочного сопротивления модели в безграничной жидкости.

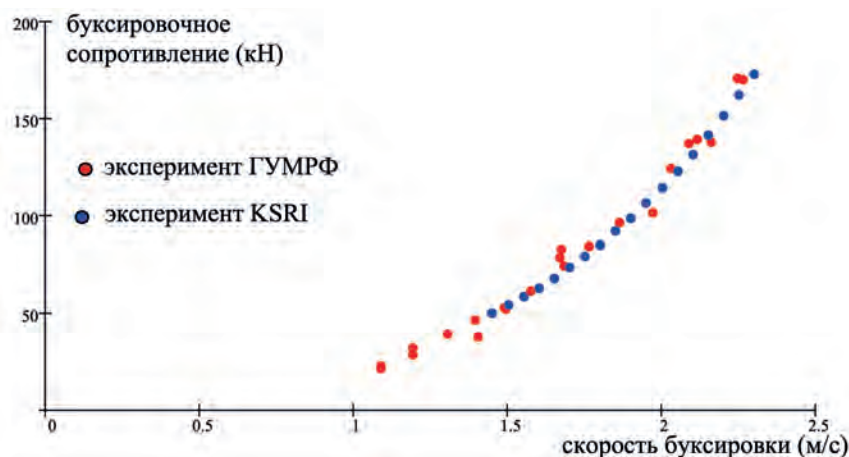


Рис. 3. Результаты сравнения буксировочного сопротивления модели в безграничной жидкости

Сравнение результатов показывает, что предлагаемый метод корректировки результатов измерения буксировочного сопротивления дает удовлетворительные результаты и может быть использован при машинной обработке результатов испытаний.

Список литературы

1. *Артюшков Л. С.* Расчеты сопротивления при движении судов в особых условиях / Л. С. Артюшков. — Л.: ЛКИ, 1983.
2. *Schuster S.* Beitrag der Frage der Kanalkorrektur bei Modellversuchen / S. Schuster // Schiffstechnik. — 1955–1956. — Bd. 5.
3. *Schuster S.* Verfahren zur Kanalkorrektur bei Modellversuchen, Symposium on the towing tank facilities / S. Schuster. — Zagreb, 1959. — Paper № 16.
4. Справочник по теории корабля. — Л.: Судостроение, 1985. — Т. 1.

УДК 621.001.5:331.01

А. Г. Ташевский,
д-р техн. наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет»;

А. К. Наумова,
начальник отдела,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПРИМЕНительно К ЗАДАЧАМ СУДОСТРОЕНИЯ

MATHEMATICAL MODELING OF INNOVATIVE PROCESSES IN COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS IN RELATION TO THE PROBLEMS OF SHIPBUILDING

На основе теоретико-вероятностной схематизации инновационных процессов и предложенного аналитического аппарата получена плотность функции распределения (лага) времени внедрения нового модуля сложной технической системы.

On the basis of probability-theoretical schematic innovation processes and the proposed analytical apparatus obtained density distribution function (lag) since the introduction of a new module of the technical system.

Ключевые слова: сложная система, инновация, функция распределения, законы распределения, типовой модуль, стимулирующий фактор, стохастическое доминирование, ограниченная информация.

Key words: complex systems, innovation, distribution function, distribution law, module types, stimulating factor, stochastic dominance, limited information.

Анализ циклических закономерностей развития техники и технологии показывает, что они базируются на двух основных принципах. Первый принцип заключается в отражении тенденций развития техники и технологии в динамике наивысших технических достижений. В соответствии с ним закономерность развития технических систем можно исследовать на основе анализа временных рядов показателя технического уровня методами, рассмотренными в [1, с. 256–263; 2, с. 203–210]. Второй принцип дискретности и поступательности процесса развития техники и технологии, согласно которому динамика технического уровня описывается ступенчатой неубывающей функцией времени.

Отрезок времени (лаг) между появлением научно обоснованной идеи до внедрения ее в сферу техники является величиной случайной. Сокращение лага обусловлено рядом факторов (потребностью внедрения, доработкой и усовершенствованием технической идеи, подготовкой производства и др.). Очевидно, что число такого рода «стимулирующих» факторов на интервале времени от появления идеи до ее реализации является случайным.

Пусть P_n — закон распределения числа стимулирующих факторов, а время сокращения лага в результате воздействия одного фактора T_B описывается экспоненциальным законом с параметром T_0 :

$$f(T_0) = \frac{1}{T_0} e^{-\frac{T_B}{T_0}}. \quad (1)$$

Значение параметра T_0 по статистике также можно считать случайным, а его частное (маргинальное) распределение в свою очередь имеет плотность:

$$\phi(T_0) = \frac{1}{\tau} e^{-\frac{T_0}{\tau}}. \quad (2)$$

В соответствии с результатами, полученными при рандомизации параметра показательного закона, можно составить характеристическую функцию для закона распределения времени внедрения инновационного продукта в судостроении:

$$\phi(T) = \sum_{n=0}^{\infty} P_n (2\pi)^n \frac{e^{[i(\tau t)^{-1}]^n}}{(t\tau)^n}. \quad (3)$$

Используя формулу обращения, запишем соотношение для определения плотности распределения:

$$f(T) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} P_n (2\pi)^n \cdot \frac{e^{\frac{i^n}{t\tau}}}{(t\tau)^n} \cdot e^{-itT_B} dt.$$

Изменяя порядок суммирования и интегрирования и используя значение табличного интеграла вида

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^n e^{-x - \frac{n}{4x}} dx,$$

находим плотность функции распределения (лага) внедрения T_B :

$$f(T_B) = \sum_{n=0}^{\infty} P_n (2\pi)^{n-1} \tau^{-n} (iT_B)^{-n+1} 2 \left[\sqrt{\frac{nT_B}{\tau}} \right]^{1-n} K_{n-1} \left[2\sqrt{\frac{nT_B}{\tau}} \right], \quad (4)$$

где $K_{n-1} \left[2\sqrt{\frac{nT_B}{\tau}} \right]$ — модифицированная функция Бесселя третьего порядка;

τ — математическое ожидание среднего времени внедрения, обусловленного воздействием одного «стимулирующего» фактора;

P_n — закон распределения числа «стимулирующих» факторов на интервале времени от появления научно обоснованной идеи до ее реализации.

Учитывая сложный характер процессов, формирующих такие редкие события в жизненном цикле судовых технических систем, как проведение с ними модернизаций, приведем еще некоторые дополнительные соображения по выбору закона распределения p_n . С этой целью введем в рассмотрение дискретное вероятностное распределение, лагранжево вероятностное распределение $f(t) = e^{v(t-1)}$ и обобщенное распределение Пуассона:

$$p_n = \vartheta_2 (\vartheta_2 + n\vartheta_1)^{n-1} e^{-\vartheta_2 - n\vartheta_1} \frac{1}{n!}. \quad (5)$$

Оценивание параметра v для обобщенного распределения Пуассона (5) можно трактовать как оценивание отклонений наблюдений от пуассоновости; при $v = 0$ распределение (5) вырождается в распределение Пуассона.

В качестве оценки параметра может быть использована оценка

$$\hat{\vartheta}_1 = 1 - \left(\frac{m_1}{m_2} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (6)$$

где m_1 и m_2 — выборочные моменты (среднее и дисперсия).

Достаточным основанием для использования этой зависимости может служить следующее соотношение между параметром v_1 и теоретическими первыми моментами:

$$1 - \vartheta_1 = \left(\frac{\mu_1}{\mu_2} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Для распределения Пуассона среднее значение случайной величины равно дисперсии ($\mu_1 = \mu_2$) и $v_1 = 0$.

Если модернизация технической системы зависит от времени внедрения однотипных по этому показателю модулей, то длительность реализационного периода системы определяется самым протяженным лагом внедрения.

Это обстоятельство приводит к необходимости постановки задачи оценки вероятности внедрения при модернизации технической системы совокупности перспективных n модулей по ограниченной информации о лаге каждого из них.

Не обращаясь к точному знанию законов распределения этого события, используя один из вариантов неравенств П. Л. Чебышева и аналитический аппарат теории стохастического доминирования, можно дать интервальную оценку вероятности внедрения на планируемый период модернизации.

Так, например, пусть при модернизации судовой технической системы производится замена модулей (в дальнейшем, не нарушая общности рассуждений, считаем, что $n = 2$), пусть известны оценки математического ожидания и дисперсии времени внедрения каждого нового технического решения ($m_1, m_2, \sigma_1^2, \sigma_2^2$; в общем случае $m_1 \neq m_2$). Требуется определить вероятность модернизации системы за время T .

Пусть $F_1(t)$ и $F_2(t)$ — функции распределений времени внедрения новых технических решений (заметим, что в соответствии с наиболее типовыми условиями при модернизации технических систем эти законы распределения неизвестны). Пусть t_1 — время внедрения первого технического решения, t_2 — второго. Совокупность величин t_1 и t_2 является выборкой независимых и не одинаково распределенных случайных величин. Если упорядочить t_1 и t_2 по величине $t_1^{(2)} \leq t_2^{(2)}$, то распределение крайнего члена вариационного ряда $t_2^{(2)}$:

$$F(T) = P\{t_2^{(2)} < T\}$$

будет определять вероятность того, что случайная величина $t_2^{(2)}$ будет меньше числа T .

Не обращаясь к точному знанию законов распределения $F_1(t)$, $F_2(t)$ и $F(t)$, для оценки вероятности события вида $|t - m_t| \leq T$ можно использовать неравенство П. Л. Чебышева. С целью повышения точности оценок, получаемых с помощью этого неравенства, представляется целесообразным использовать один из вариантов его обобщений:

$$P\{|t - m_t| \leq T\} \leq \begin{cases} \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + (m_t - T)^2}, & \text{если } 0 \leq T \leq m_t, \\ 1, & \text{если } T > m_t, \end{cases}$$

$$P\{|t - m_t| \leq T\} \leq \begin{cases} \frac{(T - m_t)^2}{\sigma^2 + (T - m_t)^2}, & \text{если } T > m_t, \\ 0, & \text{если } T \leq m_t. \end{cases} \quad (7)$$

Если рассматривать правые члены неравенств как функции распределения, то, очевидно, справедливым является следующее упорядочение (для определенности допустим, что $T > m_{t1}$, $T > m_{t2}$).

Так, например, если $m_{t1} = 10$ мес., а $m_{t2} = 1$ год, $\sigma_1 = 4$ мес., а $\sigma_2 = 2,5$ мес. и $T = 1,5$ года, то $0,68 \leq F(T = 1,5 \text{ года}) \leq 1$.

Для повышения точности оценок используем принцип стохастического доминирования. В соответствии с экстремальным принципом при выборе модели случайного эксперимента из рассматриваемых распределений предпочтение должно быть отдано тому закону распределения, который обладает большей неопределенностью. Используя эту концепцию и энтропию Шеннона в качестве меры неопределенности для сравнения и выбора соответствующих законов распределения, можно ввести частичную упорядоченность во множество одномерных функций распределений по энтропии H_ϵ (упорядочение), которое означает выполнение следующих условий:

$$-\int_a^b f_1(x) \ln f_1(x) dx \leq -\int_a^b f_2(x) \ln f_2(x) dx,$$

$$\int_a^b x^k f_1(x) dx \leq \int_a^b x^k f_2(x) dx \text{ для } k = 0, 1, 2. \quad (8)$$

Анализ механизма формирования случайной величины T не позволяет выдвинуть соображения теоретического характера, позволяющие выбрать для описания генеральной совокупности соответствующий закон распределения. Однако можно утверждать, что гипернормальное распределение доминирует любой другой закон и в соответствии с принципом максимума неопределенности является предпочтительным для описания совокупности величин t_1, t_2 . Допустим, что совокупность t_1 и t_2 является выборкой независимых, одинаково распределенных по закону $F(t)$ случайных величин. Тогда распределение крайнего члена, построенного по этой выборке вариационного ряда, имеет вид

$$P_1\{t_2^{(2)} < T\} = F_2\left(\frac{T - m_{t1}}{\sigma_1}\right),$$

где $F_2\left(\frac{T - m_{t1}}{\sigma_1}\right)$ — функция гипернормального распределения [3, с. 34–39] с параметром формы $n = 2$.

Аналогично можно получить и вторую оценку вероятности:

$$P_2\{t_2^{(2)} < T\} = F_2\left(\frac{T - m_{t2}}{\sigma_2}\right).$$

Очевидно, что справедливы следующие два варианта упорядочения:

$$F_2\left(\frac{T - m_{t2}}{\sigma_2}\right) \leq F(T) \leq F_2\left(\frac{T - m_{t1}}{\sigma_1}\right)$$

или

$$F_2\left(\frac{T - m_{t1}}{\sigma_1}\right) \leq F(T) \leq F_2\left(\frac{T - m_{t2}}{\sigma_2}\right).$$

Для рассмотренного числового примера такая оценка имеет вид

$$F_2\left(\frac{18-40}{4}\right) \leq F(T) \leq F_2\left(\frac{6-1,0}{2,5}\right).$$

После подстановки значений функций гипернормального распределения получим $0,90 \leq F(T) \leq 0,96$.

Таким образом, введение упорядоченности во множество функций распределений (применение принципа стохастического доминирования) [4; 5] позволяет повысить точность оценок вероятности внедрения «ноу-хау» при модернизации технических систем по ограниченной информации об их статистических характеристиках времени внедрения.

Для оценки гарантированной длительности процесса внедрения n модулей при ограниченной информации о среднем значении времени внедрения T_b используем экстремальное распределение, плотность вероятности которого является решением дифференциального уравнения:

$$\bar{T}_b n \left[P_n(T_b) \right]^{\frac{n-1}{n}} \ddot{P}_n(T_b) + \dot{P}_n(T_b) = 0. \quad (9)$$

Этому распределению соответствует функция квантилей, отображающая $P_r = P_n(T_b)$ в T_b :

$$T_b(P_r) = \bar{T}_b P_r \sum_{r=0}^{\infty} \frac{n}{n+r} P_r^{\frac{r}{n}}, \quad (10)$$

определяющая гарантированное время внедрения n модулей.

Выводы

Разработанные и предложенные к рассмотрению модели позволяют ставить и решать обратные задачи определения среднего времени внедрения типового модуля при модернизации судовых технических систем определенного класса по ретроспективной информации об эволюции технических систем. Так, например, если при модернизации судовой технической системы внедрено n модулей и время, прошедшее от предыдущей модернизации, составляет ΔT временных единиц, то среднее время внедрения одного модуля может быть оценено по следующей зависимости:

$$\bar{T}_b = \frac{\Delta T}{n^2 \sum_{r=0}^{\infty} \frac{1}{(n+r)(2n+r)}}. \quad (11)$$

Список литературы

1. *Ташевский А. Г.* Модели аварийных ситуаций для обеспечения безопасности функционирования сложных технических систем: [текст] / А. Г. Ташевский // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Моделирование. Математические методы. — 2013. — № 1 (166).
2. *Ташевский А. Г.* Верификация результатов испытаний сложных технических систем: [текст] / А. Г. Ташевский // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Моделирование. Математические методы. — 2013. — № 2 (171).
3. *Ташевский А. Г.* Интерпретация результатов испытаний после модернизации систем энергомашиностроения: [текст] / А. Г. Ташевский // Инструмент и технологии. — 2012. — № 36.
4. *Ташевский А. Г.* Метод оценки надежности сложных изделий энергомашиностроения при ограниченном числе испытаний: [текст] / А. Г. Ташевский // Тр. С.-Петерб. ин-та машиностроения. — СПб., 1996. — Вып. 2. — 96 с.
5. *Мартыщенко Л. А.* Гипернормальное распределение / Л. А. Мартыщенко. — М.: МО СССР, 1984.

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

С. Н. Безпальчук,
инженер,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет»;

К. А. Васильев,
аспирант,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»

ВЕРИФИКАЦИЯ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ СУДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

VERIFICATION OF MODERNIZING COMPLEX SHIP'S TECHNICAL SYSTEMS AND TECHNOLOGICAL MACHINES

Рассмотрены аспекты совершенствования математического аппарата и методов моделирования политики замены или модернизации таких сложных технических систем, как технологическое оборудование судостроительного производства, судовые турбинные установки, агрегаты системы вентиляции и др.

The aspects of the improvement of mathematical apparatus and methods provides the policy of replacement or modernization of such complex technical systems, such as technological about-equipment of shipbuilding, ship turbine installation units of the system Venti modulation and other.

Ключевые слова: судовые системы, судостроение, случайные величины, надежность, экстремальные распределения, модернизация, испытания.

Key words: ship systems, shipbuilding, random variables, reliability, extreme distributions modernization, test.

Н

А ОСНОВЕ статистического анализа эволюции ряда технических судовых систем можно сделать вывод о том, что в технических объектах одинаковой функционально-структурной схемы переход от поколения к поколению обусловлен необходимостью устранения выявленных на определенный момент жизненного цикла ограниченного числа причин («дефектов», по терминологии отдельных авторов работ по теории судовых технических систем), связанных, как правило, с потребностью повышения качества изделия, причем происходит этот переход при наличии соответствующего научно-технического потенциала и целесообразности.

В связи с этим представляется целесообразной постановка вопросов аналитического описания инновационных процессов судостроения в рамках общей теории технических систем, статистической оценки иерархического исчерпания возможностей судовых конструкций в результате проведения модернизаций, поиска основных направлений модернизации, прогнозирования периода морального старения судовых технических систем и определения целесообразных сроков их модернизации.

Следует заметить, что статистический анализ ряда таких показателей качества, как надежность (безотказность) судовых технических систем, показывает универсальность и устойчивость закономерности, определяемой в системологии как проявление так называемого «принципа Лоренца», сущность которого хорошо иллюстрируют диаграммы Паретто (рис. 1–3). Действительно, при конструктивной эволюции любой судовой технической системы всегда можно выделить в ней

ограниченное число слабых мест, ориентирующих конструкторов на поиск основных направлений модернизации. Нетрудно заметить из анализа рис. 1–3, что «принцип Лоренца» проявляется в иерархической структуре технического объекта.

Очевидно, что в результате проведения ряда модернизаций техническая система исчерпывает свои возможности к совершенствованию, иными словами, эволюционирует к сатурации.

В основу математического описания этого процесса может быть положен дискретный вариант логистической модели:

$$\Delta W_{k+1} = (r - \gamma W_k), \quad (1)$$

где $\Delta W_{k+1} = W_{k+1} - W_k$ — приращение обобщенного показателя качества системы (технического уровня) после проведения $(r + 1)$ модернизаций; r и γ — параметры логистической модели.

Параметры дифференциально-разностного уравнения (1) определяются по ретроспективной информации.

На рис. 4 приведены полученные по предложенной методике зависимости изменения обобщенного показателя качества W_k от числа проведенных с технической системой модернизаций и его прогнозное значение (на примере судового дизеля судна на подводных крыльях).

Определение параметров логистической модели (1) позволяет оценить предельное значение обобщенного показателя качества судовой технической системы, реализуемого на основе заложенных технических решений и используемой элементной базы. Из уравнения (1) следует, что предельное значение показателя качества технической системы определяется зависимостью

$$W_{\text{пред}} = \frac{r}{\gamma}. \quad (2)$$

Сопоставление значения $W_{\text{пред}}$ с $W_n^{(n)}$ (наибольшим значением обобщенного показателя качества совокупности однородных по функциональному значению рассматриваемых объектов) позволяет судить о возможном резерве повышения технического уровня и направлении совершенствования технической системы за счет модернизации. Представляется также целесообразным сравнение значений $W_{\text{пред}}$ и $W_n^{(n)}$ производить на вероятностно-статистической основе:

Диаграммы Паретто

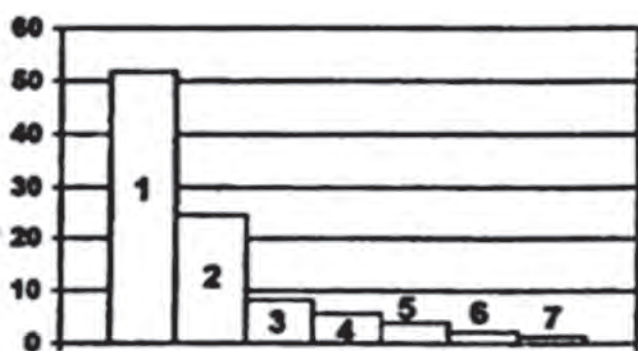


Рис. 1. Распределение отказов по агрегатам и системам судового дизеля ОАО «Звезда» судна на подводных крыльях «Метеор» выпуска 1975–1978 гг.

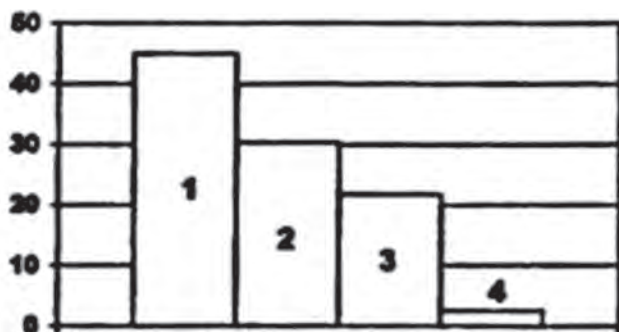


Рис. 2. Распределение отказов топливной системы

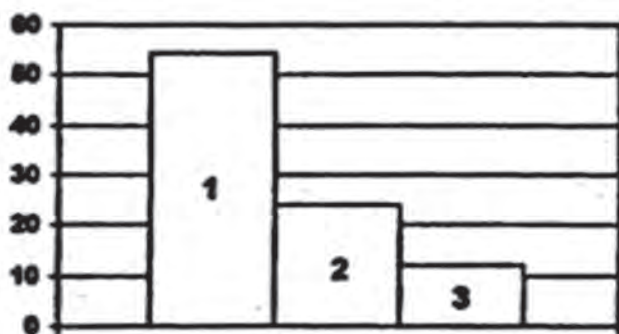


Рис. 3. Распределение отказов трансмиссии СЭУ

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
W_n (W_{3-})	1	1,237	1,532	1,957	2,255	2,596	—	—		—
$W_{пред}$ (W_T)	1	1,278	1,596	1,938	2,282	2,604	2,875	3,098	3,265	3,362

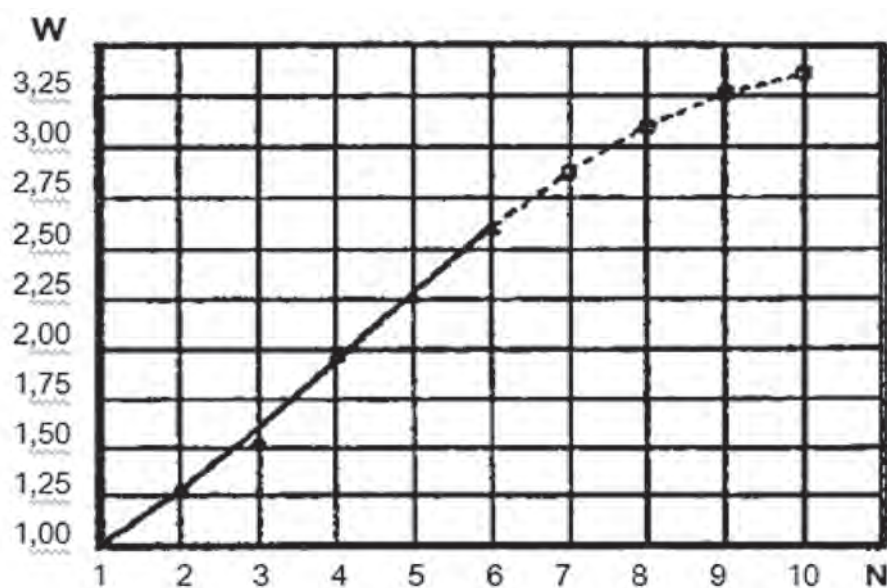


Рис. 4. Зависимость обобщенного показателя качества W ПЭВМ фирмы “IBM” от количества проведенных модернизаций

(— — логистическая кривая, - - - - - прогностическая кривая;

Δ , W — экспериментальные значения, W_T — теоретические значения, $\circ$ — значения прогноза)

Учитывая то обстоятельство, что по вариационному ряду

$$W_1^{(n)} \leq W_2^{(n)} \leq \dots W_n^{(n)} \quad (3)$$

не представляется возможным достаточно надежно определить вид закона распределения $F(W)$, объективно существующую неопределенность, для оценки вероятности исчерпания возможности конструкции к совершенствованию необходимо использовать эмпирическую квантиль $W_n^{(n)}$, дисперсию σ_w^2 и гипернормальное распределение $F_n(W)$.

Модернизация технических систем представляет собой сложный и длительный процесс. По мере накопления опыта, внедрения в практику современных методов анализа и управления сложными процессами, применения автоматизированных методов проектирования на базе вычислительных машин и заблаговременной отработки некоторых элементов, модернизируемых узлов (агрегатов, подсистем и т. п.) сроки модернизации могут сокращаться. В модернизации технических систем принимают участие научно-исследовательские, конструкторские и производственные организации, что обуславливает необходимость организации, кооперирования и взаимной увязки деятельности заказчиков, разработчиков, изготовителей и потребителей.

Заказчик, руководствуясь внешней информацией о направлениях и разработках новых образцов техники в других государствах и соображениями социально-экономического харак-

тера, определяет целесообразность проведения модернизации соответствующей технической системы.

Определение целесообразности и наиболее вероятных направлений модернизации представляется целесообразным производить на основе ретроспективного анализа систем-прототипов. Методика решения этих задач может опираться на тот научный аппарат, который представлен в [1, с. 203–210; 2, с. 34–39; 3; 4; 5, с. 256–263; 6; 7].

Очевидно, что модернизационная способность определенного типа технических систем может характеризовать разность студентизированных значений двух показателей технического уровня (наибольшего для систем-прототипов и предельного $W_{\text{пред}}$ или вероятностная оценка «резерва» модернизации):

$$F_n \left(\frac{W_{\text{пред.}} - W_n^{(n)}}{S_W} \right). \quad (4)$$

На основе анализа сравнительной оценки технического уровня систем-прототипов можно определить и наиболее вероятные направления модернизации. Очевидно, что тем показателям качества (характеристикам технических систем), которым в ходе анализа формализованными методами были поставлены в соответствие бóльшие значения коэффициентов весомости r_j , соответствуют наиболее вероятные направления модернизации, ориентированные на улучшение этих характеристик. Заметим, что коэффициенты весомости распределяются обычно неравномерно, здесь также наблюдается реализация определенной технической закономерности («принципа Лоренца»). Так, например, для судовых технических систем, имеющих резерв для модернизации, двум-трем характеристикам из 10–15, принятых к рассмотрению, соответствует суммарное значение коэффициентов весомости от 0,45 до 0,75.

Это обстоятельство позволяет сформировать отдельный corteж предпочтительности вероятных направлений модернизации для каждой судовой технической системы.

Выводы

На основе анализа сравнительной оценки технического уровня судовых систем-прототипов можно определить наиболее вероятные направления модернизации. Очевидно, что тем показателям качества (эксплуатационным характеристикам судовых технических систем), которым в ходе анализа формализованными методами были поставлены в соответствие бóльшие значения коэффициентов весомости r_j , соответствуют наиболее вероятные направления модернизации, ориентированные на улучшение этих характеристик.

Список литературы

1. *Ташевский А. Г.* Верификация результатов испытаний сложных технических систем: [текст] / А. Г. Ташевский // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Моделирование. Математические методы. — 2013. — № 2 (171).
2. *Ташевский А. Г.* Интерпретация результатов испытаний после модернизации систем энергомашиностроения / А. Г. Ташевский // Инструмент и технологии. — 2012. — № 36.
3. *Мартыщенко Л. А.* Корректировка математических моделей сложных технических систем по результатам комплексных испытаний / Л. А. Мартыщенко А. Г. Ташевский, О. Ю. Конаков. — М.: МО СССР, 1990.
4. *Мартыщенко Л. А.* Теоретико-информационные и статистические методы формирования систем исходных данных в военно-научных исследованиях / Л. А. Мартыщенко А. Г. Ташевский. — М.: МО СССР, 1991. — 48 с.

5. Ташевский А. Г. Модели аварийных ситуаций для обеспечения безопасности функционирования сложных технических систем: [текст] / А. Г. Ташевский // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Моделирование. Математические методы. — 2013. — № 1 (166).

6. Вейц В. Л. Бесконтактные магнитные и электромагнитные механизмы. Конструирование и расчет: [текст]: моногр. / В. Л. Вейц, Л. Б. Ганзбург, В. М. Петров. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. — Кн. 1: Статика бесконтактных механизмов. — 309 с.

7. Вейц В. Л. Бесконтактные магнитные зубчатые редукторы: [текст]: моногр. / В. Л. Вейц, Л. Б. Ганзбург, В. М. Петров. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. — 292 с.

УДК 629.514

М. С. Горохов,
аспирант,

ФГБОУ ВПО «Волжская государственная
академия водного транспорта»

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ФИБРОБЕТОНА

INFLUENCE OF PARAMETRES OF CONTINUOUS REINFORCEMENT ON CRACK RESISTANCE OF FLOATING STRUCTURES, MADE FROM FIBER REINFORCED CONCRETE

В статье приведены результаты лабораторных испытаний на трещиностойкость опытных конструкций из фибробетона. Выполнена обработка и анализ полученных экспериментальных данных. Установлены оптимальные параметры дисперсного армирования конструкции по условиям трещиностойкости.

The article describes the results of laboratory testing of fiber reinforced samples for crack resistance. The received testing results have been analyzed. The optimal parameters of continuous reinforcement of structures, considering crack resistance, have been defined.

Ключевые слова: железобетонное судостроение, трещиностойкость, фибра, фибробетонная плита, изгиб, опытный образец.

Key words: reinforced concrete shipbuilding, crack resistance, fiber, fiber reinforced concrete plate, bending, sample.

В ПОСЛЕДНЕЕ время к дисперсному армированию бетонных и железобетонных конструкций фиброволокнами специалистами проявляется большой интерес. Проведено значительное количество исследований физико-механических свойств и характеристик дисперсно-армированных бетонных и железобетонных конструкций, широко применяющихся в гражданском и промышленном строительстве [1]. Данный конструкционный материал представляется перспективным не только для гражданского и промышленного строительства, но и для железобетонного судостроения, так как является хорошей альтернативой существующему тяжелому судостроительному бетону, имеющему определенные специфические недостатки, такие как низкая прочность на растяжение и низкая трещиностойкость. Ввиду того, что судовые корпусные железобетонные конструкции имеют гораздо меньшие толщины, картина влияния дисперсного армирования на характеристики бетонной матрицы будет отличаться от той, что

имеет место в строительных конструкциях, для которых характерны более значительные размеры сечений. Для судовых железобетонных конструкций, подвергающихся постоянному воздействию водной среды, интерес представляет такое свойство дисперсно-армированных бетонов, как трещиностойкость, потому как данная характеристика напрямую влияет на их долговечность и надежность.

С целью установления влияния характеристик и объемного содержания фиброволокон на трещиностойкость дисперсно-армированного фибробетона было проведено лабораторно-аналитическое исследование опытных образцов, моделирующих поведение судовых железобетонных плит обшивки, находящихся под действием внешнего изгибающего момента. Для проведения исследования было изготовлено 13 опытных образцов-плит толщиной 50 мм с размерами в плане 2,5×1 м, имеющих одинаковое традиционное армирование горячекатаной арматурой класса А-III диаметром 6 мм, уложенной с постоянным шагом 100 мм, и фиброволокнами различного типоразмера. Обозначение опытных образцов и их параметры приведены в табл. 1. Объемный коэффициент армирования, указанный в данной таблице, является отношением объема фибры к объему бетона — матрицы образцов.

Таблица 1

Параметры опытных образцов

Обозначение образца	Тип фибр	Длина фибры ℓ , мм	Диаметр фибры, d	Объемный коэффициент армирования	Диаметр рабочей арматуры, мм	Шаг рабочей арматуры, мм
ПФО-1	Стальная	60	1 мм	0,01019	6	100
ПФО-2		60	1 мм	0,01146	6	100
ПФО-3		60	1 мм	0,01274	6	100
ПФО-4		60	1 мм	0,01401	6	100
ПФО-4-1		30	0,3 мм	0,00382	6	100
ПФО-4-2		30	0,3 мм	0,00510	6	100
ПФО-4-3		30	0,3 мм	0,00637	6	100
ПФО-5	Базальтовая	13	13 мкм	0,00018	6	100
ПФО-6		13	13 мкм	0,00032	6	100
ПФО-7		13	13 мкм	0,00059	6	100
ПФО-9	Синтетическая	32	20–30 мкм	0,00064	6	100
ПФО-10		32	20–30 мкм	0,00099	6	100
ПФО-11		32	20–30 мкм	0,00132	6	100

Общий вид установки, на которой моделировался чистый изгиб фибробетонной плиты, представлен на рис. 1.

Во время испытаний опытные образцы плит свободно опирались на две ножевые опоры, конструктивно выполненные в виде стальных уголков, забетонированных в теле плиты и опирающихся своей вершиной на горизонтальные полки швеллеров. Одна из опорных полок швеллера (левая, см. рис. 1) была неподвижно закреплена на опорном столе, другая имела возможность перемещаться в горизонтальном направлении, тем самым исключая продольное усилие растяжения-сжатия в опытном образце. Нагружение осуществлялось путем укладки груза в специальные корзины, подвешенные к концам силовых рычагов, которые закреплялись к плите в виде консолей. Данная схема испытаний позволила создать условия чистого изгиба с постоянным по величине на

участке между опорами плиты изгибающим моментом. Для замера деформаций бетонной поверхности и арматуры на них в специально подготовленных местах были наклеены тензодатчики и механические компараторы с индикаторами часового типа.

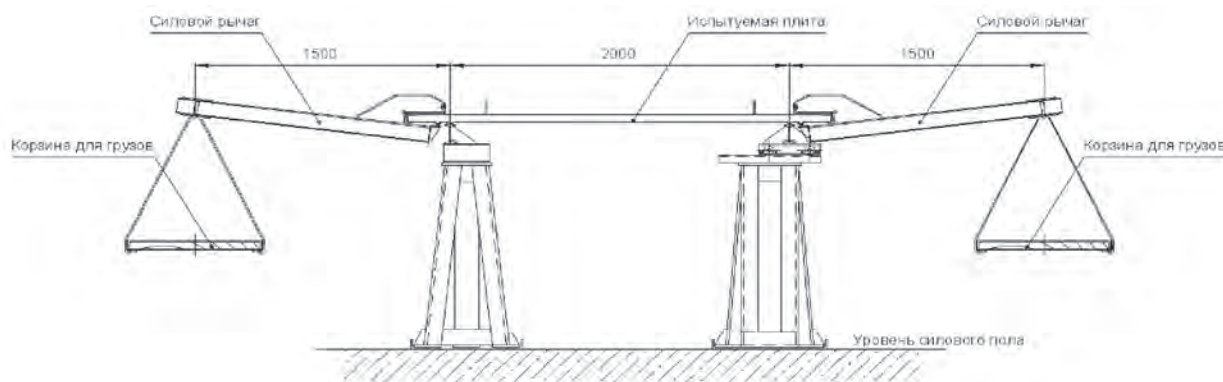


Рис. 1. Экспериментальная установка

В процессе испытания плиты нагружение проводилось в четыре этапа.

Первое нагружение — пробное, в один шаг нагружения, для проверки работы регистрирующей аппаратуры и «тренировки» тензорезисторов.

Второе и третье нагружения — основные, производились одинаковыми пошаговыми нагружениями, величина которых находилась в диапазоне от 10 до 70 % от расчетной разрушающей нагрузки.

Четвертое нагружение — окончательное, производилось теми же ступенями, до разрушения опытного образца. При нагрузках свыше 80 % от разрушающей замеры величин, требующие нахождения людей непосредственно вблизи с конструкцией, не производились из соображений безопасности.

После каждой ступени нагружения производилась выдержка в течение 5–7 мин для стабилизации напряженного состояния образца под нагрузкой. После выдержки нагрузки снимались показания механических приборов, «опрашивались» тензорезисторы, фиксировалась картина трещинообразования и производились замеры раскрытия трещин. Замеры раскрытия трещин осуществлялись при помощи микроскопа для нескольких точек первых визуально проявившихся трещин, неизменных для каждого нагружения. Значение раскрытия трещин заносилось в протокол после осреднения. Шаг трещин измерялся с помощью линейки с ценой деления 1 мм, определялся по нескольким точкам и фиксировался по фотографиям. Характер образования трещин оценивался визуально.

В процессе проведения испытаний фиксировались следующие параметры:

- момент трещинообразования (момент, при котором происходит образование первых трещин в растянутой зоне бетона, — $M_{тр}$);
- момент от внешней нагрузки, соответствующий достижению ширины раскрытия трещин величиной 0,1 мм, — $M_{0,1}$;
- ширина раскрытия трещин при одинаковом внешнем изгибающем моменте, равном $M = 5 \text{ кНм} - B_5$.

Момент трещинообразования определялся по показаниям механических компараторов как значение изгибающего момента в точке характерного излома диаграммы «изгибающий момент–деформация» при втором нагружении. Графическое определение момента трещинообразования на примере плиты ПФО-4-3 показано на рис. 2.

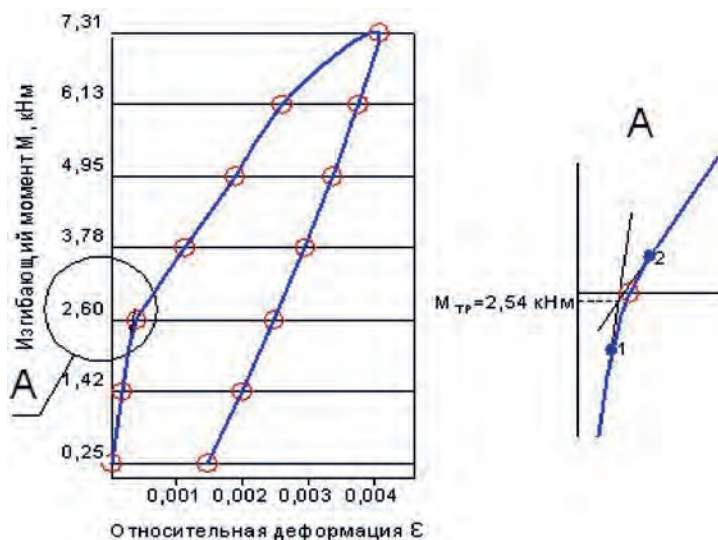


Рис. 2. К определению момента трещинообразования

В ходе испытаний выявилось, что процесс появления и развития трещин происходит не мгновенно, а в некотором диапазоне приложения нагрузки. На рис. 2 можно проследить характерные состояния развития трещин:

- точка 1 на диаграмме характеризует начало появления трещин. Следует отметить, что при данном состоянии видимых невооруженным глазом трещин еще не обнаруживается, происходит зарождение микротрещин;
- точка 2 характеризует конечную стадию появления трещин, после которой фибра в процессе трещинообразования не участвует. Выше этой точки изгибающий момент практически полностью воспринимается только арматурой.

Поскольку замеры деформаций по компараторам производились дискретными шагами по нагрузке, однозначно зафиксировать данные стадии проблематично. В качестве оценки момента трещинообразования условно принималось значение изгибающего момента в точке пересечения касательных к участкам диаграммы до характерного излома и после него (рис. 2, узел А). Так как данные моменты по показаниям разных компараторов могут отличаться, величина $M_{тр}$ определялась осреднением по всем компараторам. Моменты, соответствующие величине раскрытия трещин 0,1 мм — M_{01} , находились по второму нагружению.

Для определения величины раскрытия трещины V_3 при одинаковом для всех плит изгибающем моменте производилась линейная аппроксимация диаграмм зависимостей величины раскрытия от момента по всем случаям нагрузки, начиная с максимального момента при втором нагружении. Далее по полученному уравнению находилось искомое значение. Графики зависимостей критериев трещиностойкости от вида фибры и объемного коэффициента дисперсного армирования (μ_v) представлены на рис. 3–5.



Рис. 3. Графики зависимостей момента трещинообразования $M_{тр}$ от вида фибры и объемного коэффициента дисперсного армирования

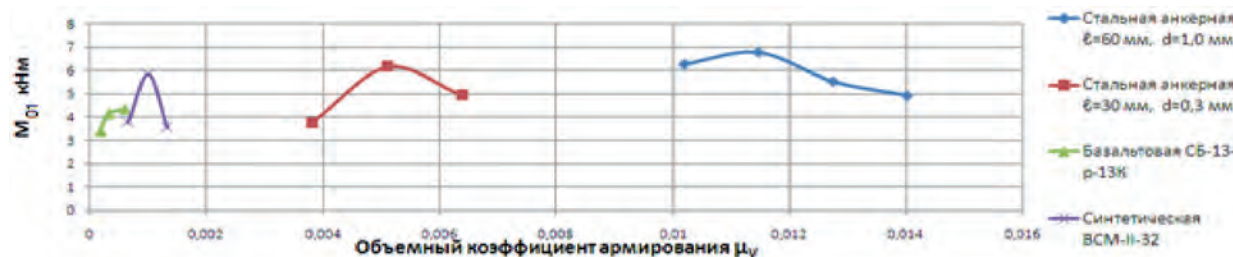


Рис. 4. Графики зависимостей момента M_{01} от вида фибры и объемного коэффициента дисперсного армирования

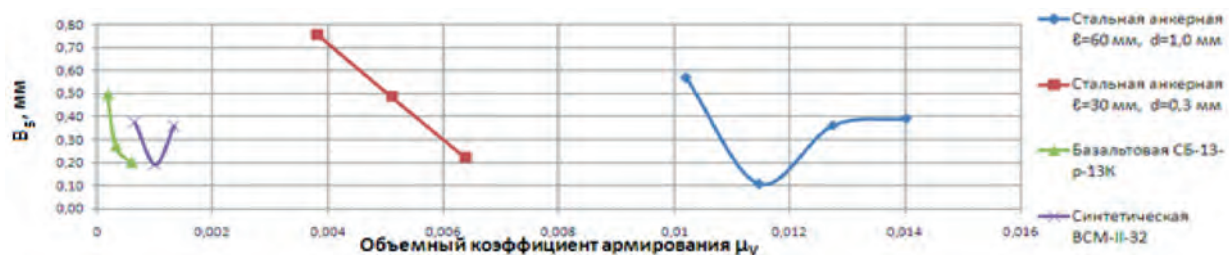


Рис. 5. Графики зависимостей раскрытия трещин V_5 от вида фибры и объемного коэффициента дисперсного армирования

В рамках лабораторно-аналитического исследования также были испытаны контрольные образцы плит, изготовленные из обычного тяжелого бетона (без добавления фибры) такого же состава, класса прочности и с такими же параметрами стержневого армирования, что и у исследуемых образцов с фиброй. Методика проведения испытаний и схема расположения измерительных приборов на контрольных образцах такая же, как и для исследуемых образцов с фиброй.

По приведенным ранее графикам (рис. 3–5) был сделан вывод о том, что наилучшие показатели трещиностойкости имеют образцы, армированные стальной фиброй длиной 30 и 60 мм, результаты испытаний которых участвовали в дальнейшем рассмотрении.

Для оценки влияния фибрового армирования на физико-механические свойства тяжелого бетона было найдено соотношение экспериментально полученных значений ширины раскрытия трещин для образцов со стальной фиброй 30 и 60 мм — a_{ϕ} и контрольных образцов без фибры — a_k , по которым в последующем строился график (рис. 6) зависимости коэффициента $k = \frac{a_{\phi}}{a_k}$ от внешнего изгибающего момента M .

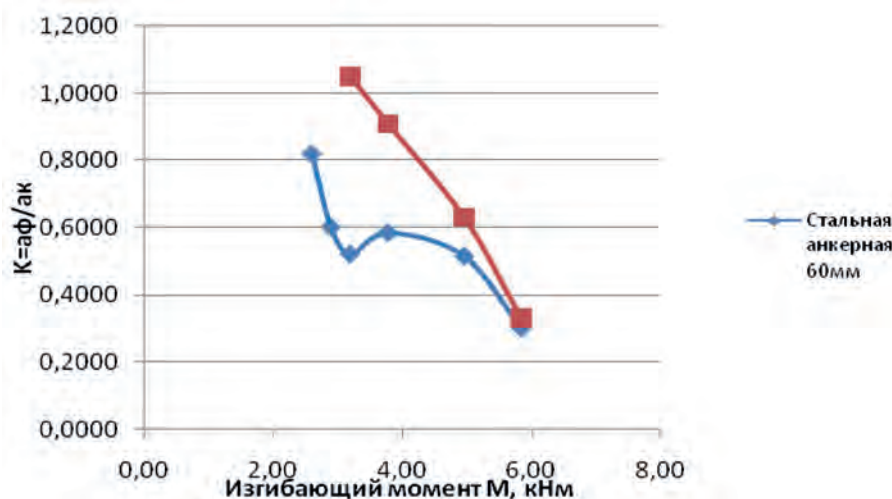


Рис. 6. Графики зависимости коэффициента k от внешнего изгибающего момента M

На основе полученных графиков были сделаны следующие выводы.

1. Трещиностойкость образцов со стальной анкерной фиброй примерно в 1,5 раза выше по сравнению с контрольными образцами из обычного бетона без фибры.

2. Наблюдаемый эффект повышения трещиностойкости фибробетона по сравнению с обычным бетоном может быть объяснен тем, что напряжения и деформации в растянутой зоне поперечного сечения более равномерно распределяются по рабочей длине образца за счет касательных усилий, возникающих на поверхности раздела материала фибры и бетонной матрицы. То есть бетон работает как бы в жесткой обойме, перераспределяющей усилия в бетоне, и вместо роста ширины раскрытия трещин происходит увеличение их количества при одновременном снижении их раскрытия. При встрече трещины с более жестким материалом фибры происходит блокирование ее дальнейшего роста.

3. Наиболее высокие показатели устойчивости к трещинообразованию $M_{тр}$ и развитию ширины раскрытия трещин $M_{0,1}$ и B_5 показали опытные образцы, армированные стальной анкерной фиброй $\ell = 60$ мм.

4. Оптимальный объемный коэффициент армирования стальной анкерной фибры $\ell = 60$ мм, при котором достигаются наилучшие показатели трещиностойкости, составил порядка 0,01146.

5. Дальнейшее увеличение объемного содержания фибры выше оптимальных значений не привело к существенному увеличению устойчивости опытного образца к трещинообразованию.

6. При испытании опытных образцов с фиброй $\ell = 60$ мм наблюдалось равномерное по длине плиты распространение большого количества трещин с небольшим шагом порядка 20 мм, что говорит о более равномерном характере работы растянутой зоны и меньшей ширине раскрытия трещин у данных образцов по сравнению с остальными, что также подтверждается расчетом по методике, предложенной [2].

7. Значения момента M_{01} для синтетической фибры ВСМ близки к показателям стальной анкерной фибры, однако момент трещинообразования $M_{тр}$ ниже на 25 %.

8. На трещиностойкость дисперсно-армированного бетона большое влияние оказывают технологические свойства фибры, то есть ее удобоукладываемость и дисперсность распределения по объему бетонной матрицы.

Список литературы

1. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов / Ф. Н. Рабинович // Вопросы теории проектирования, технологии, конструкции. — М.: Изд-во АСВ, 2004. — С. 560.

2. СП 52-104-2006* Сталефибробетонные конструкции. — М.: НИИЖБ и ОАО «НИЦ «Строительство», 2010. — 68 с.

Б. Д. Кукаленко,
д-р техн. наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет»;

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

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО ЗАЗОРА В ШИННО-ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ МУФТЕ

GRAPH-ANALYTICAL METHOD OF AS MUCH AS POSSIBLE ADMISSIBLE CLEARANCE IN BUS PNEUMATIC MUFF

Проведенное исследование и предложенный графоаналитический метод определения максимально допустимого зазора между барабаном трения и фрикционными колодками баллона позволит конструировать шинно-пневматические муфты, обеспечивающие надежную передачу момента вращения без уменьшения площади контакта в течение гарантированного срока службы баллона. Расчет каркаса резинокордного баллона целесообразно вести с учетом выбранного радиального зазора и при полном износе фрикционного слоя колодок.

This study and the proposed the graph-analytical method of as much as possible admissible clearance in between the drum friction and friction pads cylinder design allows airclutch, which providing reliable torque transmission without reducing the contact area for the guaranteed life of the cylinder. Calculation of carcass rubber balloon is appropriate to maintain the cord based on the selected radial clearance and complete wear of the friction layer pads.

*Ключевые слова: шинно-пневматическая муфта, зазор, износ фрикционных колодок.
Key words: buspneumatic muff, clearance, friction wear of the pads.*

ОДНИМ из главных параметров, характеризующих работоспособность шинно-пневматических муфт (ШПМ), предназначенных для соединения и разобщения, а также торможения вращающихся деталей, то есть вала отбора мощности, передающих момент вращения в приводах машин и оборудования различного назначения, является величина радиального зазора между фрикционными колодками их основного элемента — резинокордного баллона (РКБ) и барабаном трения муфты. Величина максимально допустимого зазора рассчитывается исходя из необходимости обеспечения контакта между внутренним протектором баллона и фрикционными колодками по всей ширине поверхности трения. Расчет учитывает переменность угла между нитями корда по высоте профиля баллона, изменение угла между нитями по боковинам и внутреннему протектору при включении муфты. Ранее полученные формулы для определения радиального зазора довольно громоздки и сложны для использования [1, с. 63–75]. Поэтому для их совершенствования предлагается более наглядный и простой графоаналитический метод определения максимально допустимого зазора ШПМ.

В основе расчета могут быть приняты следующие допущения:

- боковина каркаса РКБ в равновесном состоянии представляет собой часть тора;
- периметр конкретного сечения каркаса баллона увеличивается равномерно по всей длине пропорционально средней нагрузке, действующей на нить корда каркаса;
- профили поперечных сечений внутреннего и внешнего протекторов баллона под нагрузкой не изменяются.

Опыт показывает, что принятые допущения обеспечивают достаточную для практических целей точность расчета резинокордной конструкции баллона ШПМ [2].

Величина относительного удлинения ε_p периметра поперечного сечения каркаса может быть определена по выражению

$$\varepsilon_p \approx \frac{N_p}{E_k \cdot F_k}, \quad (1)$$

где N_p — нагрузка на нить (Н), рассчитанная при моменте вращения $T = 0$, Н (в системе СИ) по формуле [3, с. 125–132]:

$$N_{1,2} = \frac{25}{z_{\text{сл}} \cdot i_{\alpha} \cdot r_2 \cdot \cos \alpha} \left[\frac{P(r_2^2 - r_1^2)}{\cos \alpha} \pm \frac{T_{\text{max}}^2 \cdot r_2}{\pi r_1^2 \cdot \sin \alpha} \right], \quad (2)$$

в котором соответственно обозначены:

$z_{\text{сл}}$ — число слоев корда в каркасе;

i_{α} — частота нитей в слое корда при послойной сборке (конфекции) резинокордного баллона (нить/м);

α — угол закроя нитей корда (град), $\alpha = 42^\circ$;

r_1 и r_2 — наибольший и наименьший радиусы вращения каркаса (м);

P — давление сжатого воздуха в баллоне (МПа);

T — момент вращения, передаваемый ШПМ (Н·м);

E_k — модуль упругости нитей корда (МПа);

F_k — площадь поперечного сечения нитей корда (мм²).

Произведение $E_k \cdot F_k$ (Н) — «жесткость» нитей корда при растяжении можно определить по выражению

$$E_k \cdot F_k = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^{i=I} \frac{N_i}{\varepsilon_i}, \quad (3)$$

где N_i — нагрузка на нить при испытаниях (Н);

ε_i — относительное удлинение нити корда (безразмерная величина);

I — количество испытаний.

Величину параметра P_p (мм) каркаса РКБ, нагруженного внутренним давлением сжатого воздуха, можно выразить

$$P_p = (1 + \varepsilon_p) P_0, \quad (4)$$

где P_0 — периметр поперечного сечения каркаса баллона по внешнему слою в выключенном состоянии муфты (мм).

В качестве примера рассмотрим метод оценки радиального зазора S (мм) в шинно-пневматической муфте с РКБ ПМ500×125, изготовленного по общей технологии [2]. Принимаются следующие средние величины:

$$N_p = 11,47 \text{ Н}; E_k \cdot F_k \cong 107,87 \text{ Н}; P_0 = 338 \text{ мм}.$$

Следовательно, по выражению (4) будет $P_p = 1,0106 \cdot 338 = 341,6 \text{ мм}$.

На рис. 1 показана совмещенная расчетная схема контуров каркаса по внешнему слою и протекторов РКБ ПМ500×125: сечение I — распределение материалов в выключенном состоянии муфты (при наличии радиального зазора $S = 2$ мм и толщине фрикционного слоя колодок $\delta_{\phi} = 4$ мм); сечение II — распределение материалов во включенном состоянии муфты (при отсутствии радиального зазора $S = 0$ и полностью изношенном фрикционном слое колодок, то есть $\delta_{\phi} = 0$). Радиальное перемещение внутреннего протектора баллона в соответствии с техническими требованиями, предъявляемыми к ШПМ с баллоном ПМ500×125, составляет $h_r = 6$ мм с учетом первоначального радиального зазора $S = 2$ мм и износе фрикционного слоя колодок при проскальзывании и трении $\delta = 4$ мм.

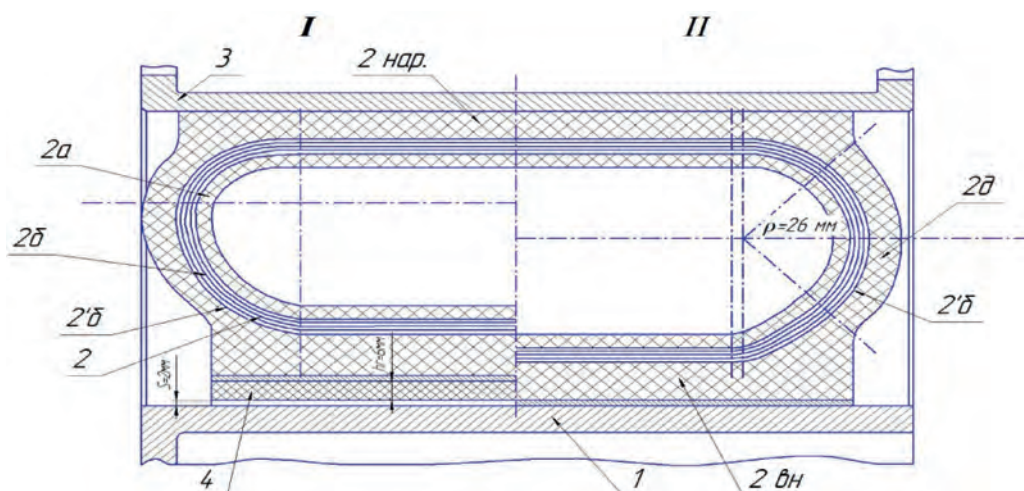


Рис. 1. Расчетная схема контуров каркаса по внешнему слою и протекторов резинокордного баллона ПМ500×125:

- I* — сечение в выключенном состоянии муфты; *II* — сечение во включенном состоянии муфты;
1 — барабан трения муфты; 2 — резинокордный баллон; 3 — наружный обод муфты;
4 — фрикционные колодки баллона; 2а — камера баллона; 2б — каркас баллона;
2'б — внешний слой каркаса; 2 нар. — наружный протектор баллона;
2 вн. — внутренний протектор баллона; 2д — боковина баллона

Профиль (контур) боковины баллона во включенном состоянии может быть определен в следующем порядке, а именно: вначале непосредственным измерением по сечению *I* распределения материалов в баллоне в выключенном состоянии муфты находится величина Π_0 . Далее по рассчитанной по выражению (4) величине Π_p на сечении *II* распределения материалов в баллоне во включенном состоянии муфты графическим построением находится дуга окружности, сопрягающаяся с контурами внешнего и внутреннего протекторов таким образом, чтобы периметр внешнего контура каркаса был равен Π_p .

Контур боковины баллона представляет собой дугу окружности с радиусом кривизны, равным $\rho = 26$ мм. Непосредственным измерением на сечении *II* определено, что $\Pi_p = 342$ мм, что достаточно точно и близко к вычисленному значению $\Pi_p = 341,6$ мм. И, таким образом, можно считать, что профиль каркаса баллона ПМ500×125 определен с достоверной точностью. Из рис. 1 (сечение *II*) также следует, что шинно-пневматическая муфта с баллоном ПМ500×125 обеспечивает полный контакт внутреннего протектора 2вн с фрикционными колодками 4 при их перемещении (ходе) в радиальном направлении до $h_r = 6$ мм. Контакт внешнего протектора 2нар баллона с наружным ободом 3 муфты при этих условиях становится неполным вследствие изгиба кромок внешнего протектора баллона. В процессе проектирования РКБ ШПМ задачу о максимально допустимом зазоре S между поверхностями внутреннего барабана трения 1 и фрикционными колодками 4 целесообразно решать в обратном порядке, для этого следует построить теоретический профиль каркаса резинокордного баллона во включенном состоянии с максимально изношенным фрикционным слоем колодок и определить периметр поперечного сечения его по внешнему слою.

Затем по выражению

$$\Pi_0 = \frac{\Pi_p}{1 + \varepsilon_p} \quad (5)$$

следует определить периметр каркаса в выключенном состоянии и по нему подобрать профиль баллона по пресс-форме. Такой метод решения поставленной задачи обеспечивает условие, что момент проскальзывания ШПМ будет не меньше заранее заданного момента трения при изношенном фрикционном слое колодок.

Таким образом, проведенное исследование и предложенный графоаналитический метод определения максимально допустимого зазора S между барабаном трения и фрикционными колодками резинокордного баллона ШПМ позволит конструировать шинно-пневматические муфты, обеспечивающие надежную передачу момента вращения без уменьшения площади контакта в течение гарантированного срока службы баллона.

Расчет каркаса РКБ ШПМ на прочность целесообразно вести с учетом выбранного радиального зазора S и при полном износе фрикционного слоя колодок.

Полученные результаты расчетов по предложенным выражениям (1)–(5) достоверно согласуются с результатами стендовых и эксплуатационных испытаний ШПМ в приводах судовых, нефтебуровых и нефтегазовых установок, машин и оборудования различного назначения.

Предложенные выражения могут быть применены при модернизации существующих и разработке новой, предполагающей использование компьютерной программы методики расчета и проектирования ШПМ с повышенными эксплуатационными параметрами.

Список литературы

1. Чулкин С. Г. Расчет максимально допустимого зазора в шинно-пневматической муфте: [текст] / С. Г. Чулкин, Б. Д. Кукаленко // Журнал Университета водных коммуникаций. — СПб.: ГУМРФ, 2013. — Вып. 3 (19).
2. Кукаленко Б. Д. Силовые элементы упругих муфт. Конструирование, производство, эксплуатация: [текст] / Б. Д. Кукаленко. — Л.: Химия, 1977. — 143 с.
3. Кукаленко Б. Д. Исследование и расчет основных статических нагрузок баллонов шинно-пневматических муфт: [текст] / Б. Д. Кукаленко, С. Г. Чулкин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. — 2012. — № 3 (154).

УДК 519.63:539.384:629.12

К. О. Ломтева,
аспирант,

ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ВЫЧИСЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПАНЕЛИ ОБШИВКИ С РЕБРОМ ЖЕСТКОСТИ ОТ ДЕЙСТВИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ НАГРУЗКИ

CALCULATION OF DEFORMATION OF A RECTANGULAR PANEL CLADDING WITH STIFFENING RIB ON THE ACTION OF THE TRANSVERSE LOAD

В статье приведено численное исследование решения задачи изгиба защемленной по контуру прямоугольной панели с одним ребром жесткости. Итерационный метод суперпозиции исправляющих функций в виде гиперболическо-тригонометрических рядов дает в пределе решение, сходимость и точность которого зависят от числа членов в рядах и числа итераций. Представлены численные результаты для прогибов пластины.

The article provides a numerical study of solutions of tasks bending on a contour of a rectangular panel with one ribs. The iterative method of superposition of correcting functions in the form of hyperbolic-trigonometric series gives in the limit solution, convergence and accuracy of which depends on the number of members in the ranks and the number of iterations. Presented numerical results for the deflection of the plate.

Ключевые слова: защемленная пластина, обшивка, изгиб, ребро жесткости, итерационный метод, ряды Фурье, численное исследование.

Key words: clamped plate, sheathing, bending, rib, iteration method, Fourier series, numerical analysis.

ЭЛЕМЕНТЫ обшивки судовых или гидротехнических конструкций, подкрепленные ребрами жесткости, которые дополняют основной силовой набор (стрингеры, шпангоуты, ригели), в основном моделируются как защемленные по контуру прямоугольные пластины со скачками жесткости по линиям ребер (пластины нерегулярной структуры). Это значительно усложняет математическую задачу определения напряженно-деформированного состояния такого элемента по сравнению с «гладкой» пластиной.

Будем рассматривать пластину с одним ребром жесткости, которое делит ее на два равных прямоугольника. Согласно П. Ф. Папковичу [1], можно рассматривать половину пластины с разрезом по оси ребра (рис. 1), которое проходит по линии $y = 1$.

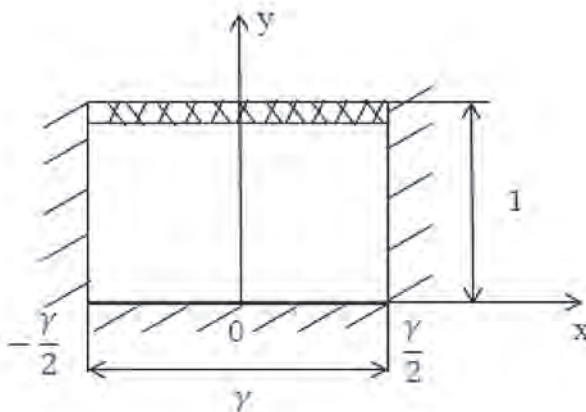


Рис. 1. Половина пластины с разрезом по оси ребра

В безразмерном виде задача ставится так: найти функцию $w(x, y)$ — прогибы пластины, удовлетворяющую [1] дифференциальному уравнению изгиба:

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

и граничным условиям:

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

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

где ∇^2 — двумерный оператор Лапласа; $w = \frac{W D}{q_0 b^4}$ — относительный прогиб; W — абсолютный прогиб; q_0 — равномерная поперечная нагрузка; $D = \frac{E h^3}{12(1-\nu^2)}$ — цилиндрическая жесткость материала пластины; E — модуль Юнга материала пластины; $\gamma = a/b$ — отношение сторон пластины; ν — коэффициент Пуассона, $G = \frac{1}{2} \frac{E_p I_p}{b D}$ — относительная жесткость половины ребра; E_p — модуль Юнга материала ребра; I_p — момент инерции сечения ребра.

Аналитическое решение этой задачи методом суперпозиции исправляющих функций приведено в работе [2]. Оно имеет вид

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

Здесь обозначено $\lambda_k = k\pi/2$, $\mu_s = \pi s/\gamma$, $\tilde{s} = (s+1)/2$.

Первое слагаемое в (4) есть частное решение уравнения (1), а последующие два ряда представляют собой бигармонические функции с неопределенными коэффициентами.

Частное решение и каждая исправляющая функция в виде ординарного ряда удовлетворяют лишь части граничных условий, то есть порождают и невязки, которые взаимно компенсируются при удовлетворении граничным условиям на двух параллельных кромках с помощью коэффициентов $A_k, \dots, F_s$. Невязки должны убывать с ростом числа итераций n , и в пределе можно получить точное решение. При достижении заданной точности процесс последовательных приближений прекращается.

Приведем выражения основных невязок от многочлена w_0 (первое слагаемое в (4)):

$$\left. \frac{\partial w_0}{\partial y} \right|_{y=0} = \frac{1}{4} \left(x^2 - \frac{\gamma^2}{4} \right); \quad \left. \frac{\partial w_0}{\partial x} \right|_{x=\pm \frac{\gamma}{2}} = -\frac{\gamma}{8} (y^2 - 2y). \quad (5)$$

Далее они разлагаются в ряды Фурье по косинусам и синусам соответственно, а затем строится итерационный процесс [2–4] исправления невязок на каждом шаге с помощью гиперболических рядов по двум координатам. В силу линейности задачи неопределенные коэффициенты суммируются после каждой итерации и по окончании процесса используются для вычисления прогибов (4), где вместо двойных рядов будут фигурировать внутренние ординарные с этими суммарными коэффициентами.

Приведем сводку формул для вычисления коэффициентов функции прогибов (4) пластины и коэффициентов невязок:

$$B_{kn} = -\frac{b_{k(n-1)}}{\eta_k \operatorname{ch} \frac{\lambda_k \gamma}{2}}; \quad A_{kn} = -\frac{\gamma}{2} \operatorname{th} \frac{\lambda_k \gamma}{2} B_{kn}. \\ b_{k0} = \frac{\gamma}{2\lambda_k^3}, \quad \eta_k = \operatorname{th} \frac{\lambda_k \gamma}{2} + \frac{\lambda_k \gamma}{2} \operatorname{ch}^2 \frac{\lambda_k \gamma}{2}, \quad \tilde{B}_{kn} = B_{kn} \operatorname{ch} \frac{\lambda_k \gamma}{2}, \\ b_{kn} = 2 \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\mu_s^2}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2 \xi_s} \left\{ (-1)^{\tilde{k}} \left[-G \frac{\mu_s^2}{\operatorname{sh} \mu_s} a_{sn} + \frac{1}{\mu_s^2} \left(\operatorname{cth} \mu_s + \frac{\mu_s}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right) t_{sn} \right] - \right. \\ \left. - \lambda_k \left[\left(\frac{2}{\mu_s} \left(1 + \frac{1}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right) + G \left(\operatorname{cth} \mu_s - \frac{\mu_s}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right) \right) a_{sn} - \frac{1}{\mu_s^2 \operatorname{sh} \mu_s} t_{sn} \right] \right\}, \\ a_{s0} = \frac{2}{\gamma \mu_s^3}, \quad a_{sn} = \frac{8}{\gamma} \mu_s \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\lambda_k^2 \tilde{B}_{kn}}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2} \quad (\text{при } n=1 \ a_{s1} = a_{s0} + a_{s1}), \quad \tilde{k} = (k+1)/2, \\ t_{sn} = G \frac{8}{\gamma} \mu_s \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\tilde{k}} \frac{\lambda_k^3 (\lambda_k^2 + 2\mu_s^2)}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2} \tilde{B}_{kn}, \quad \xi_s = \frac{\operatorname{cth} \mu_s}{\mu_s} + \frac{1}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} + \frac{G}{2} \left(1 - \frac{\mu_s^2}{\operatorname{sh}^2 \mu_s} \right),$$

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

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

$$E_{sn} = -\mu_s C_{sn}, \quad F_{sn} = (1 - \mu_s \operatorname{cth}\mu_s) C_{sn} - D_{sn} \operatorname{cth}\mu_s. \quad (6)$$

Для вычисления критерия сходимости процесса и прогибов пластины, а также для графического представления ее изогнутой поверхности была составлена программа в среде Maple. Число итераций и количество членов в рядах менялось в широких пределах. На печать выводились невязки выполнения граничных условий на каждой итерации.

Для проверки правильности алгоритма и программы определялись прогибы гладкой пластины (полагалось $G = 0$). Форма изогнутой поверхности и максимальное значение прогиба в центре пластины $w(0; 1) = -0,0025329$ полностью совпали с результатами, полученными в работах [5; 6] (прогиб $-0,00254$ и $-0,0025330$ соответственно).

Выражение критерия сходимости было получено из тех соображений, что после каждого шага итерации коэффициенты невязок должны быть меньше, чем были (все значения критерия сходимости по абсолютной величине должны быть меньше единицы).

Здесь мы приведем результаты для пластины с отношением сторон 1:2 (ребро делит пластину на два квадрата).

Было установлено, что процесс сходится для значений относительной жесткости $0 \leq G \leq 0,44$, причем увеличение жесткости ребра ухудшало сходимость процесса при одном и том же количестве членов в рядах. Наличие верхнего предела по жесткости ребра оказалось неожиданным. Предполагалось, что с ростом жесткости ребра до бесконечности будет получено в пределе решение для пластины, защемленной по всем краям (четвертая кромка — линия ребра $y = 1$). При $G > 0,44$ отдельные значения критерия сходимости (который представляет собой бесконечную числовую последовательность) превосходили единицу, но с ростом номера k они стремились к нулю, хотя и медленно. Это дает основание считать, что интервал сходимости является более широким, но вычислительный процесс определения прогибов в нем будет неустойчивым, то есть зависеть от числа членов в рядах и количества итераций.

Надежные результаты имели место для значений относительной жесткости ребра $0 \leq G \leq 0,2$. При $G = 0,1$ величина прогиба в середине ребра составила $w(0; 1) = -0,0020022$. Число членов в рядах последовательно принималось равным $N = 19, 29, 49, 69, 89, 109, 129, 149, 169, 189, 209$. Процесс во всех случаях был сходящимся, однако для совпадения пяти значащих цифр в значениях прогибов двух соседних итераций потребовалось соответственно $n = 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60$ шагов итерации. Особо отметим, что для каждой пары значений N и n из указанного списка прогибы в контрольных точках совпадали по пяти значащим цифрам. Это значит, что для получения высокой точности решения достаточно ограничиться наименьшей парой. В данном случае это $N = 19, n = 10$. Заметим также, что при $N < 19$ наблюдалось снижение точности вычисления прогибов.

Помимо получения трехмерного графика функции прогибов (формы изогнутой поверхности пластины), на печать выводились контрольные значения прогибов в отдельных точках сечения $x = 0$. Эти значения сведены в табл. 1 для пятнадцати значений относительной жесткости ребра. Там же указано оптимальное количество членов в рядах и число итераций, при которых эти значения достигались.

Таблица 1

Значения относительных прогибов пластины с отношением сторон 1:2 ($\gamma = 1$) с центральным ребром на линии $y = 1$ для различных значений относительной жесткости ребра и пластины. Прогибы отнесены к величине $\frac{q_0 b^4}{D} 10^{-2}$

G	$w(0; 0,5)$	$w(0; 0,6)$	$w(0; 0,65)$	$w(0; 0,7)$	$w(0; 1)$	N	n
0	0,19171	0,21686	0,22642	0,23422	0,25330	29	10
0,1	0,17796	0,19594	0,20125	0,20441	0,20022	19	10
0,2	0,16900	0,18233	0,18487	0,18500	0,16552	19	15
0,3	0,16269	0,17275	0,17334	0,17134	0,14103	19	25
0,4	0,15803	0,16566	0,16480	0,16122	0,12286	19	40
0,5	0,15442	0,16016	0,15820	0,15340	0,10880	19	60
0,6	0,15155	0,15582	0,15296	0,14720	0,09765	19	90
0,7	0,14922	0,15228	0,14871	0,14216	0,08858	19	160
0,8	0,14729	0,14935	0,14518	0,13798	0,08105	19	500
0,9	0,14560	0,14672	0,14197	0,13418	0,07481	11	100
1,0	0,14421	0,14460	0,13943	0,13170	0,06885	11	150
2,0	0,13664	0,13173	0,12372	0,11261	0,03821	5	120
3,0	0,13353	0,12701	0,11804	0,10588	0,02610	5	150
4,0	0,13184	0,12445	0,11496	0,10223	0,01952	5	300
5,0	0,13080	0,12289	0,11309	0,10000	0,01550	5	1000

Начиная с $G = 0,3$, стала проявляться неустойчивость процесса для больших значений N . Например, при удержании во всех рядах $N = 99$ членов процесс начал медленно расходиться после первых нескольких итераций. Для $G = 0,4$ расходимость проявилась уже при $N = 69$ и т. д.

Это объясняется тем, что невязки на линии ребра в перерезывающих силах имеют медленно

сходящийся числовой ряд (см. выражение для t_{sn}), который мажорируется рядом $\sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\frac{k}{2}} \frac{\lambda_k^2 \ln \lambda_k}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2}$.

Члены этого ряда с ростом индекса k сначала растут, достигают максимума, а уж затем, убывая, стремятся к нулю. Чем больше значение второго индекса s , тем правее и ниже максимум. Поэтому для надежных результатов следует брать не слишком большие значения индексов. Критерием выбора оптимального количества членов рядов является сходимость процесса, то есть убывание невязок выполнения граничных условий. Большое количество членов ряда вызывает накопление погрешностей машинного счета, что, в свою очередь, приводит к неверным результатам. К сожалению, определение оптимального числа членов ряда приходилось делать методом проб, однако этот перебор не занимал много времени.

На рис. 2 показана типовая форма изогнутой поверхности пластины с ребром жесткости при $G = 0,3$ и два ее вида со стороны осей координат.

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

С ростом относительной толщины увеличивалось и число итераций для достижения заданной точности вычисления прогибов. Из табл. 1 видно, что при $N = 19$ число итераций n для $G = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8$ составило соответственно 15, 25, 40, 60, 90, 160, 500.

Заметим, что для больших жесткостей $G = 2; 3; 4; 5$ в рядах удерживалось пять членов, число итераций для достижения заданной точности росло с ростом жесткости; при большем значении числа членов процесс был расходящимся.

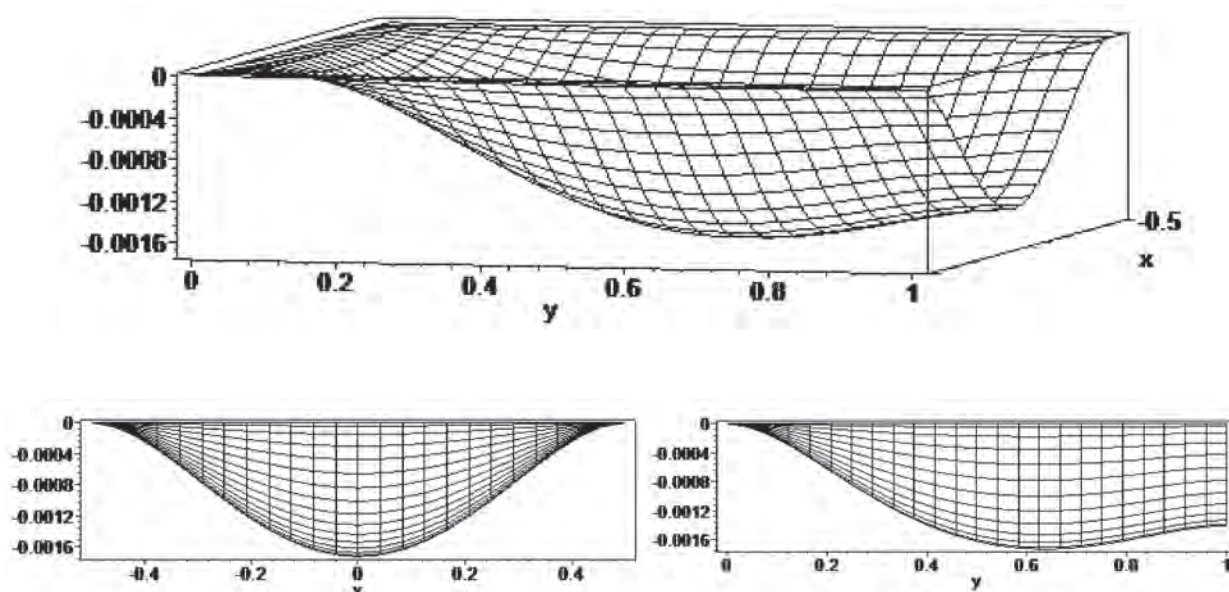


Рис. 2. Форма изогнутой поверхности квадратной пластины, жесткость ребра $G = 0,3$
(в рядах удерживалось 19 членов, число итераций 25)

Приведем форму изогнутой поверхности пластины, ребро которой имеет большую жесткость $G = 5$ (вид сбоку) (рис. 3).

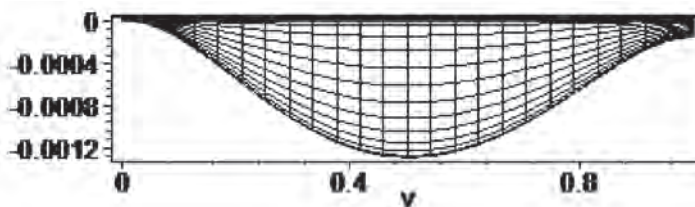


Рис. 3. Форма изогнутой поверхности квадратной пластины, жесткость ребра $G = 5$
(в рядах удерживалось 5 членов, число итераций 1000)

График показывает, что геометрические граничные условия выполнены весьма точно. Невязки по перерезывающим силам на линии ребра также были малы после 1000 итераций. Все это позволяет считать численные результаты достоверными. На рис. 3 видно, что ребро большой жесткости превращается в пределе в заделку. Для сравнения заметим, что прогиб в середине полностью защемленной пластины составляет по данным работ [5; 6] соответственно 0,00126 и 0,0012653, а при жесткости ребра $G = 5$ получено значение 0,0013080, близкое к указанным выше. Это подтверждает правильность стратегии организации вычислительного процесса при больших значениях жесткости ребра.

На рис. 4 представлены формы сечения пластины по оси Oy для различных значений относительной жесткости ребра, которые показывают динамику уменьшения прогибов с ростом указанной жесткости.

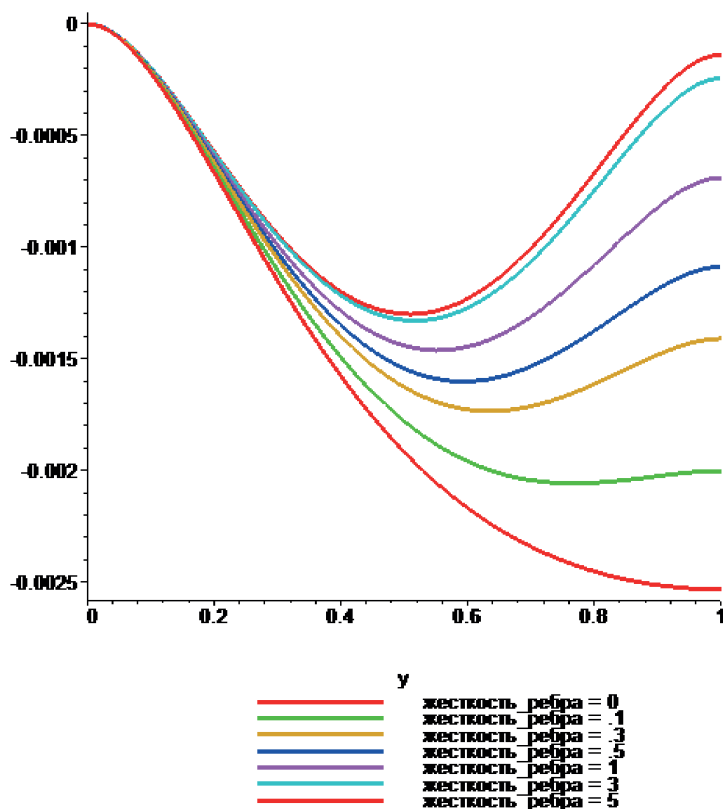


Рис. 4. Формы сечения пластины по оси Oy
для различных значений относительной жесткости ребра

Полученные результаты могут быть использованы в проектно-конструкторских организациях для практических расчетов на изгиб плоских элементов обшивки с ребром жесткости, а также для сравнения с результатами, полученными другими методами, например при тестировании МКЭ.

Список литературы

1. Папкович П. Ф. Строительная механика корабля / П. Ф. Папкович. — Л.: Судпромгиз, 1941. — Ч. 2. — 960 с.
2. Барышников С. О. Расчет на изгиб прямоугольной панели обшивки с центральным ребром жесткости / М. В. Сухотерин, К. О. Ломтева // Вестник Гос. ун-та морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 3.
3. Сухотерин М. В. Оценка действия сосредоточенной силы на обшивку судна / М. В. Сухотерин, К. О. Ломтева // Вестник Гос. ун-та морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 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. Тимошенко С. П. Пластинки и оболочки / С. П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. — М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит. 1963. — 635 с.
6. 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.

МОРСКИЕ И ВНУТРЕННИЕ ВОДНЫЕ ПУТИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И ПОРТЫ

УДК 532.546

Э. Н. Береславский,
д-р физ.-мат. наук, профессор,
Санкт-Петербургский государственный
университет гражданской авиации;

Е. В. Пестерев,
аспирант,
Санкт-Петербургский государственный
университет гражданской авиации

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ ИЗ КОТЛОВАНОВ И ВОДОХРАНИЛИЩ

MATHEMATICAL MODELING OF FLOW THROUGH TRENCHES AND WATER RESERVOIRS

В гидродинамической постановке рассматривается плоская установившаяся фильтрация несжимаемой жидкости по закону Дарси из строительных котлованов, огражденных шпунтами Жуковского, через однородный и изотропный слой грунта, подстилаемый хорошо проницаемым напорным водоносным горизонтом, на кровле которого содержится непроницаемый участок. Для изучения инфильтрации на свободную поверхность грунтовых вод формулируется смешанная краевая многопараметрическая задача теории аналитических функций, которая решается с помощью метода Полубариновой-Кочкиной и способов конформного отображения областей специального вида, характерных для задач подземной гидромеханики. Рассматриваются предельные случаи течения.

The filtration from the pits, which are fenced rabbets of Zhukovsky through a soil layer consider. At the bottom of the soil is highly permeable pressure aquifer with nonpermeable site. Mixed multiparametric boundary value problem of the theory of analytic functions is formulated to study the infiltration of the free surface. The problem is solved using the Polubarinova-Cochina's method. The limiting cases are considered. They associated with the lack of one of the factors which characterize the simulated process.

Ключевые слова: фильтрация, грунтовые воды, шпунт, область комплексной скорости, конформные отображения.

Key words: filtration, groundwater, dam, groove, velocity hodograph, conformal mappings.

ИССЛЕДОВАНИЯ по изучению фильтрационных течений из строительных котлованов и водохранилищ, огражденных симметричными шпунтами Жуковского (см., например, обзоры [1; 2; 3, с. 585–648; 4]). При этом в одних случаях предполагалось, что водопроницаемый слой грунта имеет неограниченную мощность, в других нижележащий сильнопроницаемый напорный пласт моделировался одной или двумя дренами в форме горизонтальной щели Жуковского [5, с. 297–332]. В ряде работ изучалась свободная фильтрация, то есть течение без подпора, а в отдельных случаях — напорная, то есть наличием свободной поверхности пренебрегали. Во всех упомянутых исследованиях учет инфильтрации не производился. Кроме того, для решения задач авторы использовали разные приемы: применялась функция Жуковского и способ Ведерникова–Павловского, сводящие дело к конформному отображению прямолинейных многоугольников с последующим использованием формулы Кристоффеля–Шварца.

В отличие от названных исследований, ниже, как непосредственное продолжение и развитие предыдущих результатов автора [6, с. 529–533], изучается задача о течении жидкости из котлова-

нов через грунтовой массив конечной мощности, подстилаемый хорошо проницаемым напорным водоносным горизонтом, содержащим на своей кровле водонепроницаемый участок, при наличии инфильтрации на свободную поверхность. Исследуется наиболее общий случай движения, при котором на обоих водопроницаемых участках границы области фильтрации расход принимает экстремальные значения и точка нулевой скорости потока выходит на шпунт (что, по-видимому, до сих пор не встречалось в литературе). Отмечаются предельные случаи течения, связанные с отсутствием как подпора, непроницаемого включения или инфильтрации, так и случай вырождения котлованов в полубесконечную слева полосу затопления, исследованный ранее В. В. Ведерниковым [7, с. 619–622]. Приводятся результаты для схемы, возникающей при отсутствии критических точек в том случае, когда скорость обтекания на конце шпунта оказывается конечной; полученное решение является некоторым аналогом классической задачи Жуковского [5].

Для решения смешанной краевой многопараметрической задачи теории аналитических функций используется метод Полубариновой-Кочиной [1–4], а также разработанные для областей специального вида [8] способы конформного отображения круговых многоугольников [9, с. 296–301; 10, с. 590–594], которые весьма характерны для задач подземной гидромеханики. Учет характерных особенностей движения позволяет представить решения через специальные, а в ряде случаев элементарные функции, что делает их применение простым и удобным.

На основе построенных точных аналитических зависимостей и посредством численных расчетов проводится гидродинамический анализ влияния всех физических параметров схемы на картину явления и отмечаются некоторые особенности разрабатываемых моделей.

1. Основная модель. Постановка задачи. Рассматривается плоское установившееся течение из котлована (водохранилища) AA' шириной $2l$, огражденного симметричными шпунтами Жуковского одинаковой длины S , через водопроницаемый слой грунта мощности T с нижележащим водоносным горизонтом $E'E$, содержащим подземные или артезианские воды, напор в котором имеет постоянное значение H_0 (рис. 1). На кровле этого пласта расположен водонепроницаемый участок $D'D$, моделируемый горизонтальным отрезком длины $2L$. В силу симметрии картины движения ограничимся изучением правой половины области фильтрации $ABCDEGR$.

Грунтовые воды, обтекая шпунт ARG под действием разности напоров в котловане и нижележащем хорошо проницаемом водоносном горизонте, поднимаются за ним на некоторую высоту RG и, преодолевая точку M нулевой скорости на шпунте, образуют свободную поверхность GE , на которую поступают инфильтрационные воды с интенсивностью ε ($0 < \varepsilon < 1$), отнесенной к коэффициенту фильтрации грунта $k = \text{const}$. Задача состоит в определении положения кривой депрессии GE и, стало быть, высоты RG поднятия грунтовой воды за шпунтом, то есть величины $S - d$.

Будем полагать, что движение грунтовых вод подчиняется закону Дарси с известным коэффициентом фильтрации k и происходит в однородном и изотропном грунте, который считается несжимаемым. Скорость обтекания на острие шпунта v_R принимается бесконечной (до п. 5), глубина воды H в котловане остается неизменной во времени.

С математической точки зрения задача состоит в нахождении комплексного потенциала течения $\omega = \varphi + i\psi$ (φ — потенциал скорости; ψ — функция тока) как аналитической внутри области фильтрации функции комплексной координаты $z = x + iy$ при следующих граничных условиях:

$$\begin{aligned} AB: y = 0, \varphi = -H; \quad BC: x = 0, \psi = 0; \quad CD: y = -T, \psi = 0; \quad AG: x = l, \psi = Q; \\ DE: y = -T, \varphi = -H_0; \quad GE: \varphi = -y - T, \psi = Q + \varepsilon(x - l), \end{aligned} \quad (1)$$

где Q — искомый фильтрационный расход из котлована. Исследование осуществляется в терминах приведенных величин ω и z , связанных с одноименными фактическими величинами ω_ϕ и z_ϕ посредством равенств $\omega = \omega_\phi / kT$, $z = z_\phi / T$.

Рис. 1

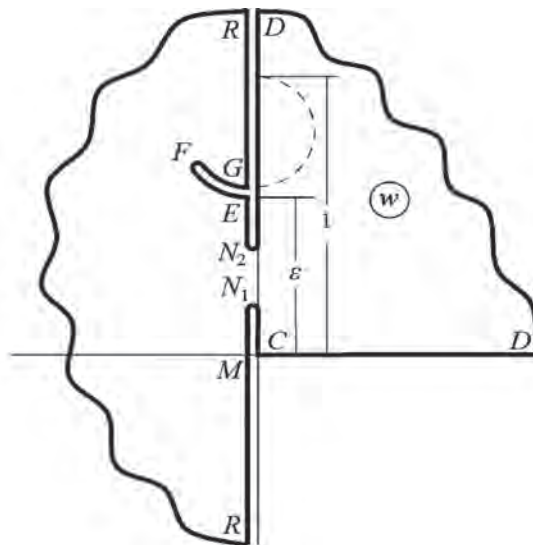


Рис. 2

2. Построение решения краевой задачи. Обратимся к области комплексной скорости w , соответствующей краевым условиям (1). Эта область, являющаяся круговым многоугольником с тремя разрезами, вершины N_1 и N_2 двух из которых соответствуют экстремумам функции тока на непроницаемых участках AB и DE , принадлежит классу многоугольников в полярных сетках [8] и совпадает с таковой для случая, рассмотренного ранее [6; 11, с. 130–138] (рис. 2). Однако, в отличие от [6; 11], в данном случае на границе области движения появляется дополнительная угловая точка — точка B ; общее число особых точек становится равным девяти, что сильно усложняет задачу.

Для решения краевой задачи используем метод Полубариновой-Кочкиной, который основан на применении аналитической теории линейных дифференциальных уравнений класса Фукса [1–4]. Вводится прямоугольник вспомогательной параметрической переменной плоскости τ ($0 < \operatorname{Re} \tau < 1/2$, $0 < \operatorname{Im} \tau < 0,5\rho$, $\rho(k) = K'/K$, $K' = K(k')$, $k' = \sqrt{1-k^2}$, где $K(k)$ — полный эллиптический интеграл первого рода при модуле k [27,28] при соответствии точек $\tau_E = 0$, $\tau_G = 0,5$, $\tau_C = 0,5(1 + i\rho)$, $\tau_D = 0,5i\rho$) и функции

$$\Omega = \frac{d\omega}{d\zeta}, \quad Z = \frac{dz}{d\zeta}. \quad (2)$$

Определяя характеристические показатели функций (2) около регулярных особых точек [1–4] и принимая во внимание то, что функция $w = d\omega/dz = \Omega/Z$ имеет прежний вид [6; 11], придем к зависимостям:

$$\begin{aligned} \Omega &= -\sqrt{\varepsilon} N \frac{\chi^+(\tau)}{\Delta(\tau)}, \quad Z = iN \frac{\chi^-(\tau)}{\Delta(\tau)}, \quad \chi^\pm(\tau) = (1 + \sqrt{\varepsilon})Y_1(\tau) \pm (1 - \sqrt{\varepsilon})Y_2(\tau), \\ Y_{1,2}(\tau) &= \vartheta_0^{-3}(\tau) \vartheta_1(\tau \pm i\gamma) \vartheta_2(\tau \pm i\alpha) \vartheta_2(\tau \mp i\beta) \exp(\pm i\pi\tau), \\ \Delta(\tau) &= \operatorname{sn}(2K\tau, k) \sqrt{[1 - (1 - k'^2 A^2) \operatorname{sn}^2(2K\tau, k)] [1 - (1 - k'^2 B^2) \operatorname{sn}^2(2K\tau, k)]}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\sqrt{\varepsilon} = \operatorname{th} \pi(0,5\rho + \beta - \alpha - \gamma). \quad (4)$$

Здесь $\operatorname{sn}(u, k)$ — эллиптическая функция Якоби (синус) при модуле k ; $\vartheta_0(\tau)$, $\vartheta_1(\tau)$ и $\vartheta_2(\tau)$ — те-та-функции с параметром $q = \exp(-\pi\rho)$, который однозначно связан с модулем k ; $N > 0$ — масштабная постоянная моделирования; $A = \operatorname{sn}(2Ka, k')$, $B = \operatorname{sn}(2Kb, k')$, a и b — неизвестные ординаты точек A и B области τ . В представлениях (3) постоянные конформного отображения α , β и γ , которые связаны соотношением (4), подчинены условиям:

$$0 < \alpha < r < \beta < m < a < b < 0,5 \rho; 0 < \gamma < 0,5 \rho, \quad (5)$$

регламентирующим положение на границе области течения точек нулевой скорости M и острия шпунта R , а также N_1 и N_2 ; m и r — неизвестные ординаты точек M и R в плоскости τ .

Можно проверить, что функции (3) удовлетворяют условия (1), переформулированные в терминах функций $d\omega/dt$ и dz/dt , таким образом являющиеся параметрическим решением исходной краевой задачи.

Запись соотношений (3) для разных участков границы области τ с последующим интегрированием по всему контуру вспомогательной области приводит к замыканию области движения и тем самым служит контролем вычислений.

В результате получаем выражения для задаваемых и искомых геометрических и фильтрационных характеристик модели:

$$\int_r^a Y_{RA} dt = S, \quad \int_a^b X_{AB} dt = l, \quad \int_0^{0,5} X_{CD} dt = L, \quad \int_b^{0,5\rho} Y_{BC} dt = T, \quad (6)$$

$$\int_b^{0,5\rho} \Phi_{BC} dt - \int_0^{0,5} \Phi_{CD} dt = H - H_0,$$

$$d = T - H_0 - \int_0^{0,5} \Phi_{EG} dt \quad (7)$$

и координат точек кривой депрессии EG :

$$x_{EG}(u) = l + \int_u^{0,5} X_{EG} dt, \quad y_{EG}(u) = -d + \int_u^{0,5} Y_{EG} dt, \quad 0 \leq u \leq 0,5. \quad (8)$$

Контролем счета являются другие выражения для величин d , L и фильтрационного расхода Q :

$$d = T - H_0 - \int_0^{0,5} Y_{EG} dt, \quad L = l - \int_0^{0,5} X_{EG} dt - \int_0^{0,5\rho} X_{DE} dt, \quad (9)$$

$$Q = \int_0^{0,5\rho} \Psi_{DE} dt - \varepsilon \int_0^{0,5} X_{EG} dt.$$

В формулах (6)–(9) подынтегральные функции — выражения правых частей равенств (3) на соответствующих участках контура области τ .

3. Анализ численных результатов для основной фильтрационной модели. Представления (3), (6)–(9) содержат семь неизвестных постоянных: ординаты a , b , r прообразов точек A , B , R в плоскости τ , параметры конформного отображения α , β , γ , удовлетворяющие соотношению (4) и неравенствам (5), а также модуль k ($0 < k < 1$) и постоянную моделирования N . Для их определения при заданных S , l , L , H и T служит система уравнений (6), наряду с которыми используются соотношения:

$$w^{-1}(0,5 + ir) = 0, \quad \int_0^{0,5} (\Phi_{EG} + \Phi_{CD}) dt + \int_0^a \Phi_{GA} dt + \int_b^{0,5\rho} \Phi_{BC} dt = 0. \quad (10)$$

Первое из этих соотношений означает, что скорость на конце шпунта обращается в бесконечность, а второе непосредственно вытекает из рассмотрения граничных условий (1). После определения неизвестных постоянных находятся искомые величины d и Q по формулам (7) и, наконец, по формулам (8) рассчитываются координаты точек свободной поверхности EG .

На рис. 1 изображена картина течения, рассчитанная при $\varepsilon = 0,6$, $T = 7$, $S = 3$, $H_0 = 3$, $L = 15$, $H = 7$, $l = 10$ (базовые значения). В табл. 1 и 2 (варьируется в допустимом диапазоне один из указанных параметров, а остальные фиксируются базовыми значениями) приведены результаты расчетов влияния определяющих физических параметров ε , T , S , H_0 , L , H и l на глубину d (отрицательные величины d означают, что свободная поверхность поднимается выше оси абсцисс) и расход Q .

Таблица 1

ε	d	Q	T	d	Q	S	d	Q	H_0	d	Q
0,5	2,651	0,182	6,5	1,349	0,234	2,0	1,726	0,635	2,0	3,155	0,038
0,6	1,804	0,394	7,0	1,804	0,394	2,5	1,745	0,563	4,0	0,441	0,769
0,7	0,586	0,457	7,5	2,299	0,457	3,5	1,844	0,255	5,0	-0,93	1,159
0,8	-1,195	0,094	8,0	2,745	0,627	4,0	1,873	0,129	6,0	-2,35	1,815

Таблица 2

L	d	Q	H	d	Q	l	d	Q
14	2,555	0,086	4,0	0,650	1,815	10,0	1,804	0,394
16	1116	0,599	5,0	1,070	1,159	10,3	2,018	0,320
17	0,413	0,888	6,0	1,441	0,769	10,6	2,229	0,253
18	-0,256	1,084	8,0	2,155	0,038	11,0	2,478	0,230

Анализ данных таблиц и графиков позволяет сделать следующие выводы.

Прежде всего обращает на себя внимание одинаковый качественный характер зависимостей величин d и Q от параметров T и l , S и H и в то же время противоположное поведение искомых характеристик при изменении параметров S и H с одной стороны и от L и H_0 — с другой.

Увеличение интенсивности инфильтрации, ширины непроницаемого включения и напора в нижележащем пласте и уменьшение мощности слоя, длины шпунта, напора воды в котловане и его ширины приводят к уменьшению глубины d , то есть к увеличению ординаты точки G выхода кривой депрессии из-под шпунта. Так, согласно данным табл. 1 и 2 увеличению параметров ε , S , H_0 и l в 1,6, 2,0, 2,0 и 1,1 раза сопутствует изменение величины d в 2,2, 1,1, 1,3 и 1,6 раза соответственно. Однако наибольшее влияние на глубину d оказывает непроницаемый участок: данные табл. 2 показывают, что при возрастании ширины L всего на 28 % глубина d увеличивается почти в 10 раз.

При $\varepsilon = 0,8$, $H_0 = 5$ и 6 и $L = 18$, то есть при достаточно больших значениях параметров ε , H_0 и L , свободная поверхность поднимается выше оси абсцисс, при этом величина d принимает отрицательные значения. Если ввести безразмерную величину $h(d) = (S - d)/S$, $h(S) = 0$, характеризующую относительную высоту поднятия грунтовой воды за шпунтом, то для указанных значений параметров ε , H_0 и L получаем $h(-1,1945) = 1,3981$, $h(-0,9297) = 1,3099$, $h(-2,3500) = 1,7833$ и $h(-0,2560) = 1,0853$ соответственно, причем величина h растет с увеличением ординаты точки G выхода кривой депрессии из-под шпунта.

Зависимости глубины d от параметров T , H_0 , L и H близки к линейным.

Что касается расхода, то с увеличением ширины непроницаемого включения величина Q также возрастает: из табл. 2 следует, что увеличение параметра L в 1,28 раза влечет увеличение расхода более чем в 12 раз. Таким образом, выявляется значительное подпирющее воздействие непроницаемого участка по отношению к фильтрации из котлована.

Подобное поведение расхода наглядно прослеживается как с увеличением мощности слоя, ширины котлована и напора в нижележащем горизонте, так и с уменьшением длины шпунта и напора в бьефе. Из табл. 2 вытекает, что уменьшению параметра H всего в 2 раза сопутствует увеличение расхода Q почти в 48 раз, что свидетельствует о наибольшем влиянии на расход напора воды в котловане

4. Предельные случаи. 1. Случай $H_0 = 0$. Остановимся прежде всего на случае отсутствия подпора, то есть движении при $H_0 = 0$. Решение для этого предельного случая получается из зависимостей (3), (6)–(9) при $\gamma = \gamma_* = 0$. При таком значении параметра γ круговой разрез EG области w , трансформируясь, вырождается в правую полуокружность (штриховая линия на рис. 2), и таким образом исходная область превращается в круговой шестиугольник, у которого выпадает правая часть полукруга $|w - 0,5i(1 + \varepsilon)| < 0,5(1 - \varepsilon)$. В плоскости течения z при $\gamma = \gamma_*$ кривая депрес-

сии выполаживается в точке E , с которой сливается ее точка перегиба F , и выходит на кровлю нижележащего горизонта под прямым углом.

2. Случай $l = \infty$. Рассмотрим случай, когда ширина котлована неограниченно возрастает. Если совершить преобразование $z' = z + l$, переводя точку A' в начало координат, и зафиксировать все физические параметры модели, то по мере возрастания ширины котлована l постоянная конформного отображения $b \rightarrow b_* = 0,5 \rho$. В пределе при $l = \infty$ параметры $b = b_*$, $B = 1$. В плоскости движения z точки B и C сливаются на бесконечности, так что область фильтрации становится полубесконечной слева полосой затопления. Из (3), (6)–(9) при $b = b_*$ вытекают результаты, полученные ранее [6; 11].

3. Случай $L = 0$. Если отсутствует непроницаемый участок на кровле нижележащего водоносного горизонта, то последний на всем протяжении становится хорошо проницаемым. При слиянии точек C и D в области комплексной скорости w ее левая полуплоскость отсекается, круговой разрез EG переходит в правую полуплоскость, а исходная область трансформируется в круговой треугольник (рис. 3). В плоскости движения z точка D , сливаясь с точкой C , выходит на ось ординат, а прямоугольник плоскости τ преобразуется в полуполосу $0 < \operatorname{Re} \tau < 0,5$, $0 < \operatorname{Im} \tau < \infty$, поскольку параметр $\rho = K'/K = \infty$, $K = 0,5 \pi$.

Решение для этого предельного случая получается из формул (3), (6)–(9), если в них положить $k = 0$ и учесть, что при этом эллиптические функции вырождаются в тригонометрические, а тета-функции обрываются на своих первых членах или константах:

$$\Omega = -\varepsilon N \frac{\sin 2r' \sin(r - m')}{\sin 2m' \cos \tau \Delta(\tau)}, \quad Z = iN \frac{\sin 2(\tau - r')}{\cos \tau \Delta(\tau)}, \quad (11)$$

$$\Delta(\tau) = \sqrt{(a - \sin^2 \tau)(b - \sin^2 \tau)(c - \sin^2 \tau)}, \quad \varepsilon = \operatorname{tg} 2m' \operatorname{ctg} 2r'.$$

Здесь $m' = \arcsin \sqrt{m}$, $r' = \arcsin \sqrt{r}$, m', r', c' ($0 < m' < r' < a' < b' < c' < 0,5\pi$) — прообразы точек M, R, C на оси абсцисс плоскости τ . Этот случай подробно описан ранее [12, с. 1032–1040], где дан анализ влияния всех физических параметров модели.

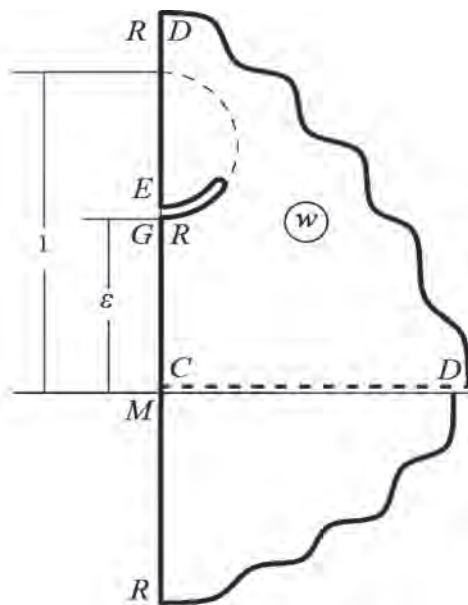


Рис. 3

4. Случай $\varepsilon = 0$. В рамках задачи $L = 0$ остановимся на случае отсутствия инфильтрации. Учитывая связь между параметрами m' и r' , отмеченную в (11), видим, что в случае, когда $\varepsilon = 0$, решение задачи вытекает из зависимостей (11) при $m' = 0$, то есть когда в плоскости τ точки кривой G и E сливаются в начале координат с точкой M нулевой скорости.

Таким образом, получается решение задачи, впервые рассмотренной В. В. Ведерниковым [7], только другим способом.

5. Случай конечной величины скорости обтекания на конце шпунта. Анализ задачи Жуковского. В рамках краевой задачи (1) рассмотрим случай, когда скорость обтекания на конце шпунта v_R , $0 < v_R < \varepsilon$ конечна и функция тока на водопроницаемых участках AB и DE не имеет экстремумов. Тогда в области комплексной скорости w исчезают оба вертикальных разреза, левая полуплоскость отсекается, как и ранее в случае $L = 0$, однако, в отличие от последнего, участок MR переносится в первый квадрант (штриховая линия на рис. 3). В результате исходная область превращается в круговой пятиугольник.

Параметрическое решение задачи имеет прежний вид (3) с заменой интегралов $Y_{1,2}(\tau)$ и постоянных конформного отображения α и β на следующие:

$$Y_{1,2}(\tau) = \vartheta_0^{-1}(\tau) \vartheta_1(\tau \pm i\gamma) \exp(\pm i\pi\tau), \quad (12)$$

$$\alpha = \beta = 0,5(1 + i\rho).$$

Решение аналогичной задачи для случая отсутствия подпора вытекает из представлений (3), (12) при $\gamma = \gamma_*$.

Анализ проведенных численных результатов показывает, что в случае $v_R < \infty$ сохраняется качественный характер зависимостей фильтрационного расхода от физических параметров схемы, свойственный случаю $v_R = \infty$. Так, например, наблюдается тот же, что и ранее, характер поведения расхода от величин T и l с одной стороны и противоположный характер от параметров S и H — с другой. Существенное влияние на расход Q по-прежнему оказывают инфильтрация, непроницаемое включение и мощность слоя.

На рис. 4 изображена картина движения, рассчитанная при $\varepsilon = 0,5$, $T = 6$, $S = 3$, $L = 16,2$, $H = 3$, $l = 15$.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что для всех расчетных вариантов оказывается $d = S$ и, следовательно, величина $h(d) = h(S) = 0$. Это означает, что в плоскости течения точка G выхода кривой депрессии из-под шпунта сливается с точкой R его острия; из рассмотрения области комплексной скорости w (рис. 3) следует, что в таком случае скорость на конце шпунта равна интенсивности инфильтрации: $v_R = \varepsilon$, $0 < \varepsilon < 1$.

Если совершить преобразование $\tau' = 0,5 + i\rho'\tau$, переводящее прямоугольник вспомогательной переменной τ в ему подобный с параметром $\rho' = 1/\rho = K/K'$, то соответствующее основной фильтрационной схеме неравенство на параметры (5) примет вид

$$0 < b' < a' < r' < 0,5, \quad (13)$$

где b' , a' , r' — абсциссы прообразов точек B , A , R в плоскости τ .

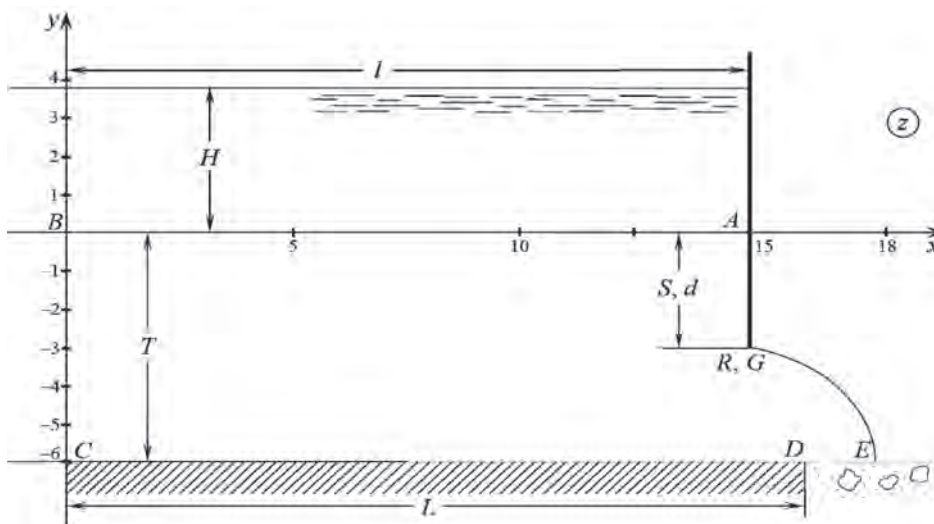


Рис. 4

Расчеты показывают, что для любого значения интенсивности инфильтрации ε ($0 < \varepsilon < 1$) соотношение $d = S$ выполняется лишь для единственного значения величины r' — ее предельного значения r'_* , когда на плоскости τ' сливаются точки G и R : $r' = r'_* = 0,5$. Все другие допустимые значения $r' < r'_*$ приводят к несогласованности с реальной картиной течения — соотношению $d > S$, то есть к отрыву потока.

Подобный результат в предельном для рассматриваемой модели случае, когда водопроницаемый слой грунта имеет неограниченную мощность, отсутствует непроницаемый участок и инфильтрация, то есть при $T = \infty$ ($k' = 0$, $k = 1$), $L = 0$ ($b' = b'_* = 0$) и $\varepsilon = 0$ ($m' = 0$), был впервые получен в свое время Н. Е. Жуковским [5]. Решение для этого предельного случая получается из зависимостей (3), (12), если в них положить $K = \infty$, $K' = \pi/2$, $k' = 0$, $k = 1$, $b' = 0$, $q' = 0$ и учесть, что при этом эллиптические функции вырождаются в гиперболические, а тета-функции, которые на этот раз характеризуются параметром $q' = 0$, обрываются на своих первых членах или константах.

Таким образом, в предельном случае изучаемой схемы получается решение задачи Жуковского, только иным путем.

Список литературы

1. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод / П. Я. Полубаринова-Кочина. — М.: Гостехиздат, 1952. — 676 с.; 2-е изд. — М.: Наука, 1977. — 664 с.
2. Развитие исследований по теории фильтрации в СССР (1917–1967). — М.: Наука, 1969. — 545 с.
3. Михайлов Г. К. Движение жидкостей и газов в пористых средах / Г. К. Михайлов, В. Н. Николаевский // Механика в СССР за 50 лет. — М.: Наука, 1970. — Т. 2.
4. Кочина П. Я. Избранные тр. Гидродинамика и теория фильтрации / П. Я. Кочина. — М.: Наука, 1991. — 351 с.
5. Жуковский Н. Е. Просачивание воды через плотины / Н. Е. Жуковский // Жуковский Н. Е. Собр. соч. — М.: Гостехиздат, 1950. — Т. 7.
6. Береславский Э. Н. О некоторых гидродинамических моделях, связанных с задачей Жуковского об обтекании шпунта / Э. Н. Береславский // Докл. РАН. — 2013. — Т. 448, № 5.
7. Ведерников В. В. Фильтрация при наличии дренирующего или водоносного слоя / В. В. Ведерников // Докл. АН СССР. — 1949. — Т. 69, № 5.
8. Кочина П. Я. Аналитическая теория линейных дифференциальных уравнений класса Фукса и некоторые задачи подземной гидромеханики / П. Я. Кочина, Э. Н. Береславский, Н. Н. Кочина. — М.: Ин-т проблем механики РАН, 1996. — Ч. 1. — 122 с. — (Препринт № 567).
9. Береславский Э. Н. О дифференциальных уравнениях класса Фукса, связанных с конформным отображением круговых многоугольников в полярных сетках / Э. Н. Береславский // Дифференциальные уравнения. — 1997. — Т. 33, № 3.
10. Береславский Э. Н. О некоторых дифференциальных уравнениях класса Фукса, встречающихся в задачах механики жидкостей и газов / Э. Н. Береславский // Дифференциальные уравнения. — 2012. — Т. 48, № 4.
11. Береславский Э. Н. О некоторых гидродинамических схемах, связанных с обтеканием шпунта Жуковского / Э. Н. Береславский, Е. В. Пестерев // Вестник СПбГУ. Сер. 1. «Математика, механика, астрономия». — 2013. — Вып. 1.
12. Береславский Э. Н. О фильтрации жидкости из котлована, огражденного шпунтами / Э. Н. Береславский // ИФЖ. — 2013. — Т. 86, № 5.
13. Аравин В. И. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде / В. И. Аравин, С. Н. Нумеров. — М.: Гостехиздат, 1953. — 616 с.

ЛОГИСТИКА И ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 519.85:656.62.022.5

В. А. Стальмаков,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ПРОХОЖДЕНИЯ СУДОВ ЧЕРЕЗ ШЛЮЗОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И ЕГО ВЕРИФИКАЦИЯ

PARALLEL GENETIC ALGORITHM FOR SOLVING SCHEDULING PASSING THROUGH THE GATEWAYS SYSTEM AND ITS VERIFICATION

В статье рассматривается алгоритм составления расписания прохождения судов через шлюзованные системы, основанный на использовании генетических алгоритмов и распределенных вычислений. Производится его верификация на модели.

This article discusses an algorithm for scheduling the passage of ships through the sluice system based on genetic algorithms and distributed computing. Made it to the verification of the model using temporal logic.

Ключевые слова: генетический алгоритм, верификация на модели, темпоральная логика.

Key words: genetic algorithm, model verification, temporal logic.

Введение

В современной России эксплуатируются десятки тысяч километров внутренних водных путей, на которых функционирует более 150 шлюзов. Эффективность эксплуатации флота на водных путях в значительной степени зависит от времени прохождения через судоходные гидротехнические сооружения, а также от стабильности и надежности работы судоходных шлюзов.

Известно, что шлюзование является одним из наиболее эффективных способов улучшения судоходных условий. Однако опыт эксплуатации показывает, что шлюзование имеет и негативную сторону: судоходные шлюзы являются своего рода тормозом транспортного процесса. Более того, вследствие характерной для речного флота неравномерности распределения грузо- и пассажиропотоков (как в течение суток, так и всей навигации) нередко происходит скопление в бьефах судов и составов, ожидающих шлюзования. Очевидно, что от качества расписания шлюзований зависит эффективность эксплуатации шлюзованной системы. Поэтому составление оптимального расписания шлюзований является важной задачей для повышения эффективности эксплуатации водного транспорта.

Задача составления расписания прохождения судов через шлюзованные системы

Рассмотрим задачу составления расписания прохождения судов через шлюзованные системы. Пусть шлюзованная система (ШС) двухниточная, состоит из однокамерных шлюзов (на примере шлюзов № 7 и 8 Шекснинского гидроузла); время подхода к подходному каналу ШС и состав групп судов, проходящих через данную ШС, известны заранее; также известно минимальное среднее время шлюзования. Тогда требуется составить расписание прохождения групп судов через данную ШС (план-график шлюзований) таким образом, чтобы все группы судов были включены в расписание; не возникало накладок в расписании; время ожидания шлюзования групп судов в подходном канале было минимальным; время простоя ШС было минимальным; соблюдалась

последовательность пропуска судов, определенная в Правилах пропуска судов и составов через шлюзы внутренних водных путей РФ.

Математическая модель

Исходные данные

В качестве исходных данных для составления расписания выступают множества:

- $G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_{N_g}\}$ — нитей шлюза;
- $S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_{N_s}\}$ — судов;
- $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_{N_t}\}$ — временных интервалов, описывающих режим работы ШС,

где N_g — количество нитей шлюза, N_s — количество судов, N_t — количество временных интервалов.

Расписание прохождения групп судов через ШС можно определить векторами (γ, τ):

$$\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_i, \dots, \gamma_{N_g}), \tau = (\tau_1, \dots, \tau_i, \dots, \tau_{N_t}), \quad (1)$$

где $\gamma_i \in G$ — код нити шлюза, назначенной группе судов для прохождения ШС; $\tau_i \in T$ — код временного интервала, назначенного группе судов для прохождения ШС.

Описание ограничений

Все требования, предъявляемые к расписанию прохождения судов через ШС, разобьем на обязательные и желательные. К обязательным относятся требования, невыполнение которых делает невозможным осуществление процесса пропуска судов через ШС. Эти требования будем рассматривать в качестве ограничений. К желательным относятся, например: минимизация времени стоянки судов в ожидании шлюзования и т. д. Эти требования будем рассматривать в качестве критериев.

Отсутствие накладок шлюзования групп судов

$$\forall (g_i, t_k) : g_i \in G, t_j \in T \left(\exists! g_i : (g_i = g_r) \wedge (g_i \in Z^{t_j}) \right) \vee \left(\neg \exists g_i : (g_i = g_r) \wedge (g_i \in Z^{t_j}) \right), \quad (2)$$

где Z^{t_j} — множество шлюзований, происходящих во временной интервал t_j .

Критерий качества расписания

Для оценки полученного расписания введем критерий P качества расписания

$$P = f(\tau) = \sum_{i=1}^N c_i w_i(\tau), \quad (3)$$

где c_i — коэффициент штрафа за невыполнение i -го требования; w_i — оценка, определяющая степень выполнения i -го требования. Чем больше значение критерия P , тем хуже расписание.

Теперь сформулируем задачу составления расписания. Для заданных множеств G, S и T требуется найти такое расписание, определенное вектором (1), содержащим коды временных интервалов, назначенных группам судов, которое удовлетворяет ограничениям и минимизирует значение критерия потерь качества расписания:

$$P \rightarrow \min. \quad (4)$$

Параллельный генетический алгоритм

Задача составления расписания прохождения судов через шлюзованные системы относится к классу NP — полных задач, сложность решения которых растет экспоненциально с ростом числа и возможных значений изменяемых переменных. Поэтому для решения таких задач целесообразно

но использовать эвристические методы. Одними из самых популярных и перспективных эвристических алгоритмов на сегодняшний день являются генетические алгоритмы.

Генетический алгоритм — это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путем случайного подбора, комбинирования и вариации искоемых параметров с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию. Является разновидностью эволюционных вычислений, с помощью которых решаются оптимизационные задачи с использованием методов естественной эволюции, таких как наследование, мутации, отбор и скрещивание.

Структура особи

В генетическом алгоритме решения задачи составления расписания прохождения групп судов через ШС каждая особь является одним из возможных решений задачи, т. е. вариантом расписания. Формула (1), как было сказано, выражает математическую модель расписания. Следуя этой модели, предлагается рассматривать особь, состоящую из одной хромосомы (рис. 2).

Хромосома в свою очередь состоит из генов, обозначаемых целыми числами $1, 2, 3, \dots, i, \dots, N$, причем номер гена соответствует номеру группы судов, так, i -й ген характеризует группу судов g_i из множества G .

Информационным наполнением хромосомы является время прохода группы судов через ШС. Таким образом, значением i -го гена является номер (код) временного интервала из подмножества допустимых временных интервалов, в который предполагается начать проведение группы судов через ШС. Это означает, что хромосома связана с блоком групп судов особой связью, которую можно назвать связью «однозначного соответствия».

Создание начальной популяции

Формирование каждого варианта расписания происходит следующим образом. Каждому гену хромосомы, условно обозначающему группу судов, приписывается некоторое случайное значение — номер временного интервала из подмножества допустимых для данной группы судов временных интервалов. Аналогичным образом формируются следующие варианты расписания.

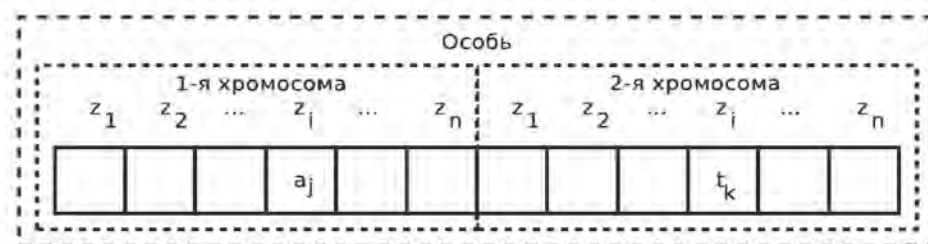


Рис. 1. Структура особи

Отбор

На данном шаге происходит отбор наиболее приемлемых вариантов расписания, имеющих наиболее предпочтительные значения используемой оценочной функции по сравнению с остальными вариантами. В данной работе предлагается метод, называемый «элитным отбором» или «элитной стратегией», который при решении данной задачи заключается в следующем: из предыдущей популяции выбирается только некоторое число отдельных вариантов расписания, имеющих наименьшее значение весовой функции — критерия, отражающего выполнение желательных требований. Выявленные таким способом «элитные» варианты без каких-либо изменений переходят в следующее поколение. Оставшееся количество «свободных мест» в новой популяции заполняется вариантами, полученными в результате их скрещивания и мутации (рис. 3).

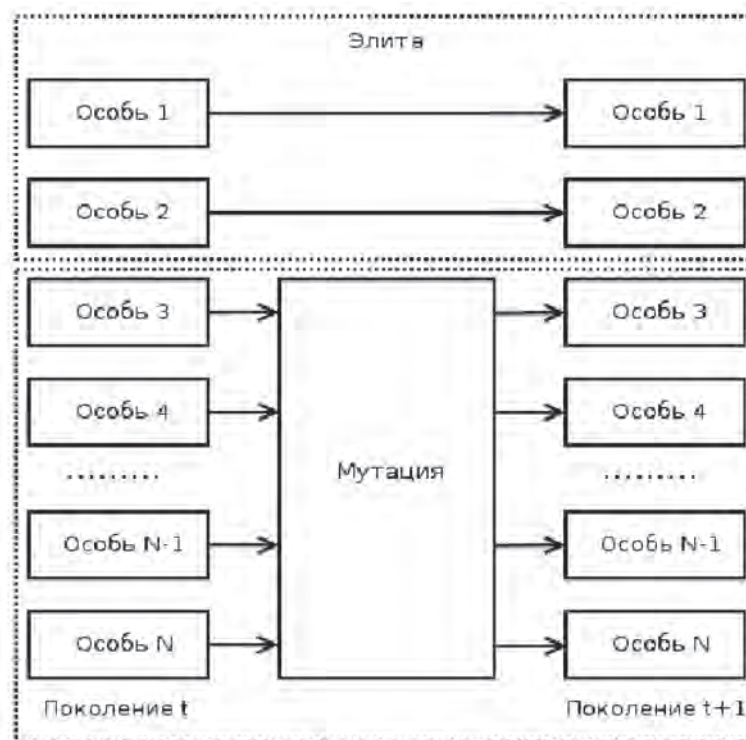


Рис. 2. Схема отбора

Скращивание

В предлагаемом генетическом алгоритме используется однотоочное скрещивание. Оно происходит по следующей схеме: случайным образом выбираются n пар вариантов расписания из текущего поколения. Далее для каждой пары отобранных вариантов случайным образом разыгрывается позиция гена (локус) и производится обмен участками генетического кода между вариантами (рис. 4). Таким образом получается новая пара вариантов, которая помещается в новое поколение.



Рис. 3. Скрещивание

Мутация

При формировании нового поколения к вариантам расписания предыдущего поколения, не относящимся к «элитным», применяется операция мутации.

В данной задаче реализованы два вида мутации:

- 1) случайным образом выбирается одна группа судов. Если для нее доступны другие временные интервалы, в которые не нарушается ее расписание, то шлюзование данной группы судов переносится на один из этих интервалов, выбранный случайным образом;
- 2) случайным образом выбираются два шлюзования, которые проводятся для судов одного типа. Если возможно, то эти шлюзования меняются местами.

Выбор вида мутации производится случайным образом.

Критерий останова и выбор «наилучшей» особи

В результате применения операторов отбора и мутации формируется популяция потомков, которая заменяет родительскую популяцию, после чего выполняется проверка условия останова алгоритма. Если заданное значение максимального количества итераций алгоритма достигнуто, то алгоритм завершает работу. В последнем поколении в качестве решения задачи выбирается тот вариант расписания, который в наибольшей степени удовлетворяет требованиям, предъявляемым к расписанию. То есть особь, имеющая минимальное значение оценочной функции.

Известно, что генетические алгоритмы хорошо поддаются распараллеливанию. Для них предложено множество архитектур и стратегий поиска для выполнения на параллельных процессорах. Данные стратегии основаны на взаимодействии изолированных популяций или отдельных генетических алгоритмов, вычисление решений которых реализуется на отдельных процессорах. Взаимодействие популяций или генетических алгоритмов реализуется по специальным правилам, формирующим суть стратегии и требующим специальной параллельной архитектуры процессоров. Однако в настоящий момент широко распространены и общедоступны многоядерные процессоры (2-, 3- и 4- ядерные), где каждое ядро представляет собой полноценный процессор. Данную систему можно рассматривать как простейшую многопроцессорную систему. Рассмотрим несколько подходов к распараллеливанию генетических алгоритмов.

Первым подходом является распараллеливание отдельных шагов алгоритма: отбора, скрещивания, мутации, оценки особей. При этом генофонд разделяется на блоки, над каждым из которых работает отдельный поток. Однако такой подход не очень удобен в программировании по сравнению с двумя другими.

При втором подходе, его еще называют островной моделью, заводят несколько независимых генофондов (островов), каждый из которых итерируют в отдельном потоке. Затем каждые несколько итераций устраивают «миграцию» — переселение ДНК между всеми «островами». Стратегию переселения можно выбирать свободно: можно переселять чемпиона, можно — случайную ДНК (или несколько ДНК). Однако стоит помнить, что слишком частые миграции, а также миграции большого числа ДНК со временем нивелируют популяции на разных «островах».

Такой подход имеет неоспоримые преимущества. Во-первых, его легко воплотить программно, так как не требуются затраты на синхронизацию потоков. Во-вторых, на каждом «острове» можно использовать различные стратегии мутации, размножения и т. д., что приведет к более широкому охвату области возможных значений переменных и с большей вероятностью к глобальному экстремуму, нежели к локальному.

Третий подход является модификацией островной модели из расчета на массовый параллелизм. Его называют клеточной моделью. Такой подход можно использовать, когда речь идет о вычислениях в кластере. Суть клеточной модели в следующем: пусть у нас имеется множество процессоров (машин), расположим их логически в виде таблицы.

Каждая ячейка таблицы представляет собой один процессор. Каждый процессор итерирует отдельную популяцию, со своим набором стратегий размножения, мутации и т. д. По окончании определенного числа итераций происходят миграции между соседними ячейками таблицы.

Такой подход применим лишь на многоядерных машинах либо в кластерах, так как на машинах с малым числом ядер возникнут большие накладные расходы, связанные с переключением контекста потока, что резко снизит эффективность параллельных вычислений.

Преимуществом клеточной модели перед островной является резкое снижение вероятности скатывания в локальный минимум, так как перемешивание происходит не между всеми популяциями, как в островной модели, а лишь между соседними, что снижает скорость выравнивания генофонда между популяциями.

Для решения данной задачи предлагается алгоритм, являющийся некоей комбинацией островной и клеточной моделей.

В данном случае имеется несколько независимых популяций (островов), эволюция в которых происходит параллельно; и буфер обмена особями, который в каждый момент времени либо

содержит одну особь, либо пуст. Процесс миграции особей между островами использует этот буфер обмена. Процесс миграции запускается при достижении на одном из островов критерия необходимости миграции.

Существует n независимых популяций (островов), эволюция в которых происходит параллельно, и буфер обмена особями. Эволюция на каждом острове может находиться в трех состояниях:

- 1) создание нового поколения (основной процесс эволюции);
- 2) пауза (проверка буфера обмена);
- 3) достигнут критерий необходимости миграции (ожидание миграции).

Буфер обмена может находиться в состояниях:

- 1) пуст;
- 2) содержит особь из острова, в котором достигнут критерий необходимости миграции;
- 3) остров для миграции выбран, происходит обмен особями.

После каждого создания нового поколения проверяется условие достижения критерия необходимости миграции, и если он не выполняется, то эволюция переходит в состояние паузы. В этом состоянии проверяется буфер обмена особями. Если он содержит особь, предназначенную для миграции (с исходящего острова), то она принимается в популяцию взамен наихудшей особи, а копия наилучшей особи популяции помещается в буфер обмена для перехода в исходящий остров.

Если же условие критерия необходимости миграции выполняется, то в буфер обмена (при условии, что он свободен) помещается наилучшая особь популяции или ожидается освобождение буфера обмена. Затем ожидается переход буфера обмена в состояние обмена особями и в популяцию из него принимается особь вместо наихудшей. Буфер обмена освобождается, процесс эволюции переходит в состояние создания нового поколения.

Таким образом миграция особей происходит между двумя островами и только при условии выполнения критерия необходимости миграции.

Верификация предложенного алгоритма

Написание любых программных продуктов обычно сопровождается различными подходами по определению корректности приложения. Наиболее распространенным методом проверки корректности приложения является тестирование. Однако, несмотря на относительную простоту написания тестовых сценариев и проверки дефектов программы на этих сценариях, разработчик никак не сможет доказательно удостовериться в корректности выполнения программы с помощью этого подхода.

Другими подходами являются методы спецификации контрактов и их проверка в статическом либо динамическом режиме, а также верификация программной модели.

Верификация программной модели позволяет доказательно проверить корректное поведение на всех возможных входных воздействиях.

Виды верификации

Формальная верификация

Формальная верификация представляет собой процесс доказательства с помощью формальных методов корректности или некорректности алгоритмов, программ и систем в соответствии с заданным описанием их свойств. Она требует высококвалифицированных специалистов в области формальных доказательств и логического вывода.

В общем случае задача, решаемая в рамках данного подхода, является алгоритмически неразрешимой. При этом весь процесс формального доказательства связан с огромной ручной работой, что делает его малоприменимым на практике.

Верификация на модели

Под верификацией на модели понимают метод формальной верификации, позволяющий проверить, удовлетворяет ли заданная модель системы спецификациям, написанным на формаль-

ном языке. Применение данного подхода позволяет для заданной модели поведения системы с конечным (возможно, очень большим) числом состояний проверить выполнимость некоторого логического требования (спецификации), обычно формулируемого в терминах языка темпоральной логики (LTL, CTL и т. д.). Таким образом можно проверить не только условия на мгновенное состояние системы, но и историю его развития со временем.

Проверка предложенного алгоритма

Для проверки корректности предложенного алгоритма необходимо:

- 1) сформулировать требования, предъявляемые к алгоритму;
- 2) выбрать логический язык, на котором можно описывать требования, предъявляемые к алгоритму, и представить эти требования в виде формул;
- 3) выбрать математическую модель, адекватно представляющую все вычисления алгоритма. Модель должна быть устроена так, чтобы каждое вычисление в модели являлось интерпретацией языка;
- 4) проверить корректность формул на всех вычислениях модели.

При верификации параллельных алгоритмов, как правило, требуется проверить, что в каждом вычислении системы некоторые события происходят в определенной последовательности. Каждое событие можно охарактеризовать булевой переменной (0-местным предикатом), которая принимает значение «Истина» тогда и только тогда, когда наступает событие. Таким образом, в языке не нужны предметные переменные, термы, кванторы. Однако осуществимость событий изменяется со временем. Значит, в логическом языке должен быть явно учтен фактор времени. То есть для описания требований, предъявляемых к параллельному алгоритму, достаточно воспользоваться языком пропозициональной темпоральной логики линейного времени PLTL.

В PLTL наряду с булевыми логическими связками для описания причинно-следственной зависимости событий во времени применяются темпоральные операторы:

- X — в следующий момент времени;
- F — когда-то в будущем;
- G — всегда в будущем;
- U — до тех пор, пока;
- R — освободить.

Пусть задано множество булевых переменных (атомарных высказываний) $AP = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, тогда формула PLTL — это p_i , если $p_i \in AP$. Если ϕ и ψ формулы PLTL, то будут справедливы следующие булевы высказывания:

- $(\phi \vee \psi)$;
- $(\phi \wedge \psi)$;
- $(\phi \rightarrow \psi)$;
- $(\neg \phi)$.

Также будут определены следующие выражения:

- $(X\phi)$; — в следующий момент будет верно ϕ ;
- $(F\phi)$ — когда-то в будущем будет верно ϕ ;
- $(G\phi)$ — всегда верно ϕ ;
- $(\phi U \psi)$ — ϕ остается верной, пока не станет верной ψ ;
- $(\phi R \psi)$ — ψ может перестать быть верной, только после того как станет верной ϕ .

Чтобы облегчить запись формул и избавиться от лишних скобок, условимся, что одноместные темпоральные операторы X, F, G обладают таким же приоритетом, как отрицание $\neg$, а двухместные темпоральные операторы U, R имеют наивысший приоритет среди двухместных связок.

Введем следующие атомарные высказывания, соответствующие основным событиям вычисления алгоритма:

- run_i — i -й остров находится в процессе создания нового поколения;
- $pause_i$ — пауза между итерациями;

- $met_criterion_i$ — достигнут критерий необходимости миграции;
- $exchange_i$ — обмен особями с буфером обмена;
- has_first — в буфер обмена помещена первая особь для обмена;
- has_second — в буфер обмена помещена вторая особь для обмена.

Теперь сформулируем требования к алгоритму и выразим их в виде формул PLTL.

Если остров достиг критерия необходимости миграции и буфер обмена свободен, то когда-нибудь он поместит в буфер обмена особь для миграции

$$G(\neg has_first \wedge met_criterion_i \rightarrow F has_first).$$

Если остров перешел в состояние паузы и буфер обмена содержит первую особь и не содержит второй особи для обмена, то остров когда-нибудь поместит в буфер обмена особь

$$G(has_first \wedge \neg has_second \wedge pause_i \rightarrow F has_second).$$

В качестве системы, осуществляющей проверку на модели, была выбрана система NuSMV. Каждая программа, воспринимаемая системой NuSMV, представляет собой набор модулей, которые, в свою очередь, описывают свое внутреннее состояние, а также систему переходов в зависимости от входных воздействий.

В каждой программе существует модуль `main`, который указывает конфигурацию других модулей и является в некотором смысле стартовой точкой программы.

Каждый модуль имеет:

- аргументы, передаваемые ему при создании;
- набор внутренних переменных;
- блоки управления значением внутренних переменных.

Система позволяет использовать в качестве основных типов только примитивные целые (`byte`, `short`, `int`, `boolean`) массивы со статической длиной, а также типы перечисления.

Блоки управления значением внутренних переменных разделяются на две группы:

- блоки, отвечающие за инициализацию переменных (`init`);
- блоки, отвечающие за изменение переменных при различных условиях (`next`).

Условия задаются в виде булевой формулы, использующей обычные булевы операторы. В блоках изменения внутренних переменных (`next`), различных для условия описания, используется конструкция множественного условия (`case`).

Ниже приведен код модели данного алгоритма на языке NuSMV.

```
MODULE main
  DEFINE
    clipboard_has_first := (isl1.status = met_criterion | isl2.status = met_criterion | isl3.status = met_criterion |
    isl4.status = met_criterion );
    clipboard_has_second := (isl1.status = met_criterion | isl2.status = met_criterion | isl3.status = met_crite-
    rion | isl4.status = met_criterion ) & clipboard_has_first;
  VAR
    isl1          : process island(clipboard_has_first, clipboard_has_second);
    isl2          : process island(clipboard_has_first, clipboard_has_second);
    isl3          : process island(clipboard_has_first, clipboard_has_second);
    isl4          : process island(clipboard_has_first, clipboard_has_second);
  LTLSPEC G (!(clipboard_has_first = FALSE & clipboard_has_second = TRUE));
  LTLSPEC G (!(clipboard_has_first & isl1.status = met_criterion) -> F clipboard_has_first = TRUE);
  LTLSPEC G (!(clipboard_has_first & isl2.status = met_criterion) -> F clipboard_has_first = TRUE);
  LTLSPEC G (!(clipboard_has_first & isl3.status = met_criterion) -> F clipboard_has_first = TRUE);
  LTLSPEC G (!(clipboard_has_first & isl4.status = met_criterion) -> F clipboard_has_first = TRUE);
  LTLSPEC G ((clipboard_has_first & !clipboard_has_second & isl1.status = pause) -> F clipboard_has_se-
  cond = TRUE);
```

LTLSPEC G ((clipboard_has_first & !clipboard_has_second & isl2.status = pause) -> F clipboard_has_second = TRUE);

LTLSPEC G ((clipboard_has_first & !clipboard_has_second & isl3.status = pause) -> F clipboard_has_second = TRUE);

LTLSPEC G ((clipboard_has_first & !clipboard_has_second & isl4.status = pause) -> F clipboard_has_second = TRUE);

--LTLSPEC G (isl1.status = met_criterion -> NF isl1.status = run | isl1.status = pause);

LTLSPEC G (isl1.status = exchange -> F isl1.status = met_criterion | isl1.status = pause);

MODULE island(clipboard_has_first, clipboard_has_second)

VAR

status :{run, pause, met_criterion, exchange} ;

ASSIGN

init(status) := run;

next(status) :=

case

status = run : pause;

status = pause & clipboard_has_first & !clipboard_has_second : exchange;

status = pause & clipboard_has_second : {run, met_criterion};

status = met_criterion & !clipboard_has_first : exchange;

status = exchange & clipboard_has_first & clipboard_has_second : run;

TRUE : status;

esac;

FAIRNESS

Running

Проверим соответствие модели алгоритма спецификациям, с помощью программы NuSMV (рис. 4). Как видно из скриншота, алгоритм соответствует спецификациям.

```
*** This is NuSMV 2.5.4 (compiled on Sun Jun 2 16:43:19 UTC 2013)
*** Enabled addons are: compass
*** For more information on NuSMV see <http://nusmv.fbk.eu>
*** or email to <nusmv-users@list.fbk.eu>
*** Please report bugs to <nusmv-users@fbk.eu>

*** Copyright (c) 2010, Fondazione Bruno Kessler
*** This version of NuSMV is linked to the CUDD library version 2.4.1
*** Copyright (c) 1995-2004, Regents of the University of Colorado

*** This version of NuSMV is linked to the MiniSat SAT solver.
*** See http://www.cs.chalmers.se/Cs/Research/FormalMethods/MiniSat
*** Copyright (c) 2003-2005, Niklas Een, Niklas Sorensson

WARNING *** Processes are still supported, but deprecated. ***
WARNING *** In the future processes may be no longer supported. ***

WARNING *** The model contains PROCESSES or ISAs. ***
WARNING *** The HRC hierarchy will not be usable. ***

-- specification G !((clipboard_has_first = FALSE & clipboard_has_second = TRUE) is true
-- specification G !((clipboard_has_first & !isl1.status = met_criterion) -> F clipboard_has_first = TRUE) is true
-- specification G !((clipboard_has_first & !isl2.status = met_criterion) -> F clipboard_has_first = TRUE) is true
-- specification G !((clipboard_has_first & !isl3.status = met_criterion) -> F clipboard_has_first = TRUE) is true
-- specification G !((clipboard_has_first & !isl4.status = met_criterion) -> F clipboard_has_first = TRUE) is true
-- specification G !((clipboard_has_first & !clipboard_has_second) & !isl1.status = pause) -> F clipboard_has_second = TRUE) is true
-- specification G !((clipboard_has_first & !clipboard_has_second) & !isl2.status = pause) -> F clipboard_has_second = TRUE) is true
-- specification G !((clipboard_has_first & !clipboard_has_second) & !isl3.status = pause) -> F clipboard_has_second = TRUE) is true
-- specification G !((clipboard_has_first & !clipboard_has_second) & !isl4.status = pause) -> F clipboard_has_second = TRUE) is true
```

Рис. 4. Результат проверки в программе NuSMV

Заключение

Предложенный алгоритм может быть использован для составления расписания прохождения судов через отдельную шлюзованную систему. Он является разновидностью параллельных генетических алгоритмов и сочетает в себе преимущества островной и клеточной моделей. Среди преимуществ можно отметить возможность генерации приемлемых вариантов расписания уже с первой итерации. В алгоритме предусмотрена возможность значительного улучшения расписа-

ния благодаря добавлению дополнительных критериев оценки свободы и качества расположения групп судов в расписании.

Корректность данного алгоритма была проверена с помощью метода верификации на модели. Были составлены модель алгоритма и набор спецификаций, которым он должен соответствовать. И с помощью системы NuSMV была произведена проверка предложенного алгоритма на корректность.

Список литературы

1. Чебатуркин А. А. Методы верификации конечных автоматов, взаимодействующих по акторной модели / А. А. Чебатуркин, М. А. Мазин. — СПб.: СПбИТМО, 2010.
2. NuSMV User Manual [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://nusmv.iirst.itc.it/NuSMV/userman/index-v2.html>
3. Правила пропуска судов и составов через шлюзы внутренних водных путей Российской Федерации: утв. приказом Минтранса РФ от 24 июля 2002 г. № 100.
4. Кононов В. В. Гидротехнические сооружения водных путей, портов и континентального шельфа (Судоходный канал и бетонный шлюз) / В. В. Кононов. — СПб.: СПбГУВК, 2009.

УДК 621.396

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

Д. А. Загрединев,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

Ю. Б. Михайлов,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

МОДЕЛЬ НЕЛИНЕЙНОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПЕРЕГРУЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

MODEL OF NONLINEAR LOGISTICS SYSTEM OF AUTOMATION OF HANDLING PROCESS

В статье рассматривается модель и оптимизация решения нелинейной многомерной транспортной задачи, базирующейся на численных методах квадратичного программирования, реализуемого в вычислительной среде MATLAB. Достоверность результатов численного моделирования подтверждается экспериментом. По алгоритму произведен синтез логистической системы автоматизации перегрузочного процесса, обеспечивающей минимум транспортных расходов на управление ресурсами. Приведен пример расчета системы.

The article is devoted to the model and optimization of the solution of the nonlinear multidimensional transport problem which is based on numerical quadratic programming methods, which is implemented in the MatLAB computing codes. Numerical modeling high quality is confirmed by experiment. The automation logistic system synthesis is devoted to reloading process providing transportation minimum for resource costs. The example of system calculation is given.

Ключевые слова: алгоритм, модель, моделирование, численные методы, квадратичное программирование, транспортная задача, оптимальное решение, достоверность, логистическая система, автоматизация перегрузочного процесса.

Key words: algorithm, model, modeling, numerical methods, the quadratic programming, the transport task, optimal solution, reliability, logistics system, automation of the reloading process.

В ПОСЛЕДНЕЕ время в исследованиях транспортных потоков наряду с линейными методами математического программирования все шире стали применять модели и алгоритмы нелинейной динамики. Целесообразность их применения обоснована наличием в транспортном потоке устойчивых и неустойчивых режимов движения, потерь устойчивости при изменении условий движения, нелинейных обратных связей, необходимости в большом числе переменных для адекватного описания системы.

Наибольшее применение в таком классе задач нашли методы линейного программирования, которые имеют много эффективных алгоритмов решения с помощью вычислительных средств. Но эти методы неприменимы, если функции стоимости нелинейны, за исключением тех случаев, когда они обладают определенными простыми структурными свойствами, дающими возможность тем или иным способом эффективно использовать линейную аппроксимацию.

Другими известными численными методами решения такого класса задач являются динамическое программирование, градиентные методы, методы, базирующиеся на генетических алгоритмах и др.

Динамическое программирование представляет собой особый математический метод оптимизации решений, специально приспособленный к многошаговым (или многоэтапным) операциям. Динамическое программирование (ДП) начало развиваться в 1950-х гг. благодаря работам Р. Беллмана. В основе метода ДП лежит принцип оптимальности, сформулированный Р. Беллманом. Этот принцип и идея трансформации сложной задачи оптимизации в семейство аналогичных многошаговых простых задач приводят к рекуррентным соотношениям и функциональным уравнениям для оптимизации целевой функции. Рекуррентные соотношения позволяют последовательно получить решение для исходной задачи оптимизации.

Вместе с тем динамическому программированию свойственны и недостатки. Прежде всего в нем нет единого универсального метода решения. Практически каждая задача, решаемая этим методом, характеризуется своими особенностями и требует проведения поиска наиболее приемлемой совокупности алгоритмов для ее решения. Кроме того, большие объемы и трудоемкость решения многошаговых задач, имеющих множество состояний, приводят к необходимости отбора задач малой размерности либо использования сжатой информации. А это достигается с помощью методов анализа вариантов и перебора списка состояний. Последний характерный для этого метода недостаток чаще упоминается в литературе как «проклятие размерности».

Используя градиентные методы, можно найти решение широкого спектра задач нелинейного программирования. Применение этих методов в общем случае позволяет найти точку локального экстремума. Поэтому более целесообразно использовать их для нахождения решения задач выпуклого программирования. Процесс нахождения решения задачи с помощью градиентных методов состоит в том, что, начиная с некоторой точки x_k , осуществляется последовательный переход к некоторым другим точкам до тех пор, пока не будет найдено приемлемое решение исходной задачи. Градиентные методы могут быть подразделены на две группы.

К первой группе относятся методы, при использовании которых исследуемые точки не выходят за пределы области допустимых решений задачи. В данном случае наиболее распространенным является метод Франка–Вульфа. Ко второй — методы, при использовании которых исследуемые точки могут как принадлежать, так и не принадлежать области допустимых решений. Однако в результате реализации итерационного процесса находится точка области допустимых решений, определяющая приемлемое решение. Наиболее часто используются метод штрафных функций и метод Эрроу–Гурвица. При нахождении решения задачи градиентными методами итерационный процесс продолжается до тех пор, пока градиент функции

$$\nabla f(x_k) = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n} \right)$$

в очередной точке x_{k+1} не станет равным нулю или же пока не выполнится неравенство

$$|f(x_{k+1}) - f(x_k)| < \varepsilon,$$

где $\varepsilon > 0$ (точность полученного решения).

Градиентные методы являются основными численными методами поиска оптимальных решений в многомерных задачах. На практике наиболее востребованными являются задачи поиска минимума квадратичной целевой функции, частным случаем которых являются многомерные транспортные задачи с квадратичной функцией стоимости перевозок. Рассмотрим решение многомерной и нелинейной транспортной задачи с использованием квадратичного программирования, реализуемого в среде MATLAB с применением градиентных методов.

Постановка задачи квадратичного программирования предусматривает поиск минимума квадратичной целевой функции общего вида, зависимость которой от своих аргументов определяется следующим выражением:

$$f(x) = a + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_i x_j. \quad (1)$$

Коэффициенты c_{ij} удобно считать элементами симметричной матрицы:

$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Можно показать, что у квадратичной целевой функции (1) имеется минимум, причем единственный, в том и только в том случае, когда матрица (2) является положительно определенной (это условие в дальнейшем мы будем предполагать выполненным).

В случае квадратичной целевой функции (1) легко вычисляются компоненты градиента:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = b_i + \sum_{j=1}^n c_{ij} x_j, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

а матрица Гессе при этом не зависит от выбора точки x и совпадает с матрицей коэффициентов (2):

$$H_{ij}(x) = \frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} = c_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

Формулами (3) и (4) можно воспользоваться при определении направления поиска как в методе наискорейшего спуска, так и в методе Ньютона.

Приведем теперь без доказательства общую формулу, позволяющую для произвольной квадратичной целевой функции (1) найти величину шага, обеспечивающую минимум функции при любом выборе направления поиска:

$$h = - \sum_{i=1}^n u_i \left(b_i + \sum_{j=1}^n c_{ij} x_j \right) / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} u_i u_j. \quad (5)$$

В методе наискорейшего спуска общая формула (5) для величины шага заметно упрощается:

$$h = \sum_{i=1}^n u_i^2 / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} u_i u_j. \quad (6)$$

В методе Ньютона вычисленный в соответствии с (5) шаг оказывается равным единице:

$$h = 1.$$

Это означает, что в случае квадратичных целевых функций метод Ньютона сразу же за один шаг приводит к цели.

В вычислительной среде MATLAB задача квадратичного программирования решается с помощью функции *quadprog*, которая имеет синтаксис

$$x = \text{quadprog}(H, f, A, b, Aeq, beq, lb, ub),$$

где H , A и Aeq есть матрицы, а f , b , beq , lb , ub и x есть векторы.

В соответствии с указанным синтаксисом функция *quadprog* имеет следующее описание:

- вычисляет вектор x , который минимизирует целевую функцию $f(x) = \min_x \frac{1}{2} x^T H x + f^T x$, при условии выполнения ограничения неравенства $A \cdot x \leq b$;
- решает указанную выше задачу с дополнительным выполнением ограничений типа равенства $Aeq \cdot x = beq$;
- определяет набор нижних и верхних границ для переменной x , так чтобы решение находилось в диапазоне $lb \leq x \leq ub$.

Первые пять параметров функции — входные (их значения должны задаваться), вектор x — выходной параметр (должен вычисляться при решении задачи). В матричном виде квадратичная часть целевой $f(x)$ функции запишется так:

$$f(x) = 0,5 \cdot x' \cdot H \cdot x,$$

где H есть матрица Гессе. Элементами матрицы H являются коэффициенты при переменной x второго порядка. Линейная часть функции $f(x)$ равна $f'' \cdot x$, где координатами вектора f являются коэффициенты при переменной x первого порядка. Свободные члены целевой функции не включаются в обращение к целевой функции *quadprog*, поэтому они учитываются отдельно.

Покажем возможность использования функции *quadprog* для решения многомерной транспортной задачи с квадратичной целевой функцией и сравним полученные результаты с результатами решения той же задачи методом множителей Лагранжа [1], которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Оптимальное решение многомерной транспортной задачи из [1]

Потребители	Склад 1	Склад 2	Склад 3	Издержки	Накопленные издержки
1	25	0	0	25,00	25,00
2	40	0	0	81,00	106,00
3	5	55	0	130,75	236,75
4	0	0	30	30,00	266,75
5	0	0	20	20,00	286,75
6	0	0	30	65,00	351,75
7	30	0	5	110,00	461,75
8	0	0	30	96,00	557,75
9	0	25	0	50,00	607,75
10	0	0	40	240,00	847,75

Как следует из [1], поиск решения производился для транспортной задачи с тремя складами и десятью пунктами потребления, в которой функция стоимости перевозок наряду с постоянной и линейной составляющими включала и квадратичную составляющую.

Исходные данные (табл. 2) те же, что использовались при решении этой задачи методом множителей Лагранжа. Приведем пояснения к задаче [1].

Таблица 2

Показатели стоимости перевозок

Потребители	Из склада 1			Из склада 2			Из склада 3			Спрос r_i
	a_{1j}	b_{1j}	c_{1j}	a_{2j}	b_{2j}	c_{2j}	a_{3j}	b_{3j}	c_{3j}	
1	1,0			3,1		2,0	7,0			25
2	2,0		1,0	4,1			3,0			40
3	3,0	0,01		2,1			9,0			60
4	1,5			1,1	0,1		1,0			30
5	2,5			2,6			1,0			20
6	5,0	-0,01	10,0	3,0			2,0		5,0	30
7	3,0			1,0	0,2	5,0	4,0			35
8	6,0			2,0			3,0		6,0	30
9	6,0	-0,05	8,0	2,0			5,0			25
10	6,0			5,0	0,01		6,0			40

Будем считать, что стоимость перевозки представляет собой квадратичную функцию:

$$g_{ij}(x) = a_{ij}x + b_{ij}x^2 + c_{ij}(x) \quad (7)$$

от перевозимого количества x плюс «организационные» расходы.

Под «организационными» расходами $c_{ij}(x)$ понимаются затраты, не зависящие от перевозимого количества и равные нулю, когда перевозка не производится.

Предполагается, что надо перевезти 100 единиц со склада 1, 80 единиц со склада 2 и 155 единиц со склада 3. Таким образом, суммарные запасы на складах, равные 335 единиц, равны суммарному спросу потребителей, равному также 335 единиц, то есть

$$x_1 + x_2 + x_3 = \sum_{i=1}^{N=10} r_i.$$

Тогда задача поиска оптимального решения состоит в определении величин x_{ij} , удовлетворяющих условиям:

$$\begin{cases} x_{ij} \geq 0, \\ \sum_{j=1}^N x_{ij} = x_i, \quad i = 1, 2, \dots, M, \\ \sum_{i=1}^M x_{ij} = r_j, \quad j = 1, 2, \dots, N, \end{cases}$$

так, чтобы минимизировать общую стоимость перемещения ресурсов:

$$C_{MN} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N g_{ij}(x_{ij}).$$

Пример программы решения транспортной задачи с тремя складами и десятью пунктами потребления с применением квадратичного программирования представлен файлом sah799.m, содержание которого поясняется комментариями.


```
% sah799.m
% Распределение ресурсов.
% Три пункта отправления (склада), десять пунктов потребления.
% Матрица коэффициентов  $a_{ij}$  линейной части  $f'$  целевой функции
AA=[1.0 3.1 7.0;2.0 4.1 3.0;3.0 2.1 9.0;1.5 1.1 1.0;2.5 2.6 1.0;
    5.0 3.0 2.0; 3.0 1.0 4.0;6.0 2.0 3.0;6.0 2.0 5.0; 6.0 5.0 6.0];
% Вектор организационных расходов (из коэффициентов  $c_{ij}$ ):
M=[0 1 0 0 0 10 0 0 8 0 2 0 0 0 0 0 5 0 0 0 0 0 0 0 5 0 6 0 0];
% Формирование вектора  $f$  линейной части целевой функции
f=[AA(:,1);AA(:,2);AA(:,3)]';
% Вектор-строка коэффициентов  $b_{ij}$ , пропорциональных квадрату переменных  $x$ 
P=[0 0 0.01 0 0 -0.01 0 0 -0.05 0 0 0 0 0.1 0 0 0.2 0 0 0.01 zeros(1,10)];
% Диагональная матрица Гессе
H=2*diag(P);
% Ограничения - равенства:
Aeq=[eye(10) eye(10) eye(10)];
beq=[25 40 60 30 20 30 35 30 25 40]';
% Ограничения - неравенства:
A=[ones(1,10) zeros(1,10) zeros(1,10);zeros(1,10) ones(1,10) zeros(1,10)];
b=[90 100]';
% Граничные условия:
lb=zeros(30,1); ub=[];
%opt=optimoptions('quadprog');
% Расчет экономического плана:
[x,fval]=quadprog(H,f,A,b,Aeq,beq,lb,ub);
% Учет аддитивной составляющей организационных расходов:
Y1=(x>0);
J1=fval+M*Y1;
% Расчетное распределение товара по пунктам потребления:
C=[x(1:10) x(11:20) x(21:30)];
Y=(C>0);
Qv=[P(1:10)' P(11:20)' P(21:30)'];
Qv1=Qv.*[x(1:10).^2 x(11:20).^2 x(21:30).^2];
L=AA.*C+[M(1:10)' M(11:20)' M(21:30)'].*Y+Qv1;
JJ=[L(:,1) L(:,2) L(:,3)]
J2=L(:,1)+L(:,2)+L(:,3);
J3=cumsum(J2);
Cost=[JJ J3]
J4=sum(J2)
% Проверка результатов расчета по J1 и J4:
Rez=[J1 J4]
```

Результатами вычислительного эксперимента являются следующие:

```
x =
    25.0000         0.0000 0.0000
    35.0000         0.0000 5.0000
    -0.0000        60.0000         0.0000
    -0.0000         0.0000 30.0000
         0.0000        -0.0000        20.0000
    -0.0000         0.0000 30.0000
```

30.0000	5.0000	0.0000	
0.0000	10.0000	20.0000	
0.0000	25.0000	0.0000	
0.0000	0	40.0000	

Cost =

25.0000	2.0000	0.0000	27.0000
71.0000	0.0000	15.0000	113.0000
-0.0000	126.0000	0.0000	239.0000
-0.0000	0.0000	30.0000	269.0000
0.0000	-0.0000	20.0000	289.0000
-0.0000	0.0000	65.0000	354.0000
90.0000	15.0000	0.0000	459.0000
0.0000	20.0000	66.0000	545.0000
8.0000	50.0000	0.0000	603.0000
0.0000	0	240.0000	843.0000

Rez =

843.0000

На основе представленного вычислительного алгоритма разработана программа в кодах MATLAB, позволяющая оперативно решать нелинейные логистические задачи с изменяющимися ограничениями при соблюдении логических условий функционирования технологических объектов.

Список литературы

1. Беллман Р. Прикладные задачи динамического программирования / Р. Беллман, С. Дрейфус. — М.: Наука, 1965.
2. Математическое программирование в примерах и задачах: учеб. пособие / под ред. И. Л. Акулич. — М.: Высш. шк., 2003. — 320 с.
3. Ашманов А. Ф. Численные методы оптимизации / А. Ф. Ашманов, М. В. Соловьев. — М.: Физматгиз, 2008. — 320 с.
4. Венцель Е. С. Исследование операций / Е. С. Венцель. — М.: Сов. радио, 2004. — 550 с.
5. Солодовников А. С. Задача квадратичного программирования / А. С. Солодовников. — М.: Финансовая академия, 2004. — 397 с.

УДК 656.621/626

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

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

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ГРУЗОВ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЯ НА ЧИСЛО СУДОВ В ОЧЕРЕДИ

PROBABILISTIC FORMALIZATION OF CONTAINERIZED CARGO HANDLING PROCESS CONSIDERING LIMITATION OF VESSELS IN THE QUEUE

В работе осуществляется формализация процессов переработки контейнерных грузов экспортно-импортных и каботажных судов с учетом ограничения на число судов в очереди.

This article contains the formalization of containerized cargo handling of inland and international trading vessels considering limitation of vessels in the queue.

Ключевые слова: обработка контейнерных грузов, вероятностная формализация, комбинированные сети систем массового обслуживания.

Key words: containerized cargo handling, probabilistic formalization, combined queueing networks.

Введение

Возрастающая сложность современных перерабатывающих терминалов и ужесточение требований к качеству переработки грузов выдвигают задачу исследования и оптимизации этих процессов на различных стадиях проектирования и эксплуатации терминалов.

В настоящее время возможности экстенсивного роста большинства существующих портов исчерпаны, так как все они в той или иной степени «зажаты» активно развивающейся в последнее время городской инфраструктурой. В связи с этим дальнейшее развитие таких портов возможно только за счет оптимизации работы действующих терминалов в целях повышения интенсивности погрузочно-разгрузочных работ и максимального сокращения сроков обработки судов. При этом наиболее важной и сложной задачей является оптимизация процессов переработки грузов путем оптимального планирования и оперативного управления этими процессами.

Решение оптимизационных задач сталкивается с рядом трудностей, связанных с отсутствием моделей, адекватно описывающих процессы одновременной обработки экспортно-импортных и каботажных судов.

При выборе числа причалов или оптимальной загрузки перегрузочных терминалов традиционно используются детерминированные модели процессов переработки грузов. Однако при обработке детерминированных моделей принимаются допущения, существенно идеализирующие процессы переработки грузов. Впервые задача определения оптимального числа причалов на основе марковских моделей массового обслуживания была сформулирована Б. В. Гнеденко более сорока лет тому назад.

Однако применение марковских моделей массового обслуживания для исследования процессов обработки контейнерных грузов не является целесообразным, так как эти модели недостаточно адекватно описывают процессы переработки грузов в реальных условиях функционирования.

Так, при использовании марковских моделей СМО предполагается, что длительность перехода судна из порта в порт и длительность обработки подчиняются показательному закону распределения. Принятие этих допущений может привести к весьма существенным ошибкам при расчете показателей качества процессов переработки экспортно-импортных и каботажных контейнерных грузов в стационарном режиме [3, с. 70–74].

В работах автора [3; 4, с. 74–76] рассматривались вопросы вероятностной формализации и оптимизации процессов обработки каботажных или экспортно-импортных судов. В настоящей работе рассматриваются процессы совместной работы каботажных и экспортно-импортных судов, представленных в виде комбинированных сетей систем массового обслуживания (СМО).

Разработка вероятностных моделей, адекватно описывающих процессы одновременной обработки каботажных и экспортно-импортных судов, учитывая ограничение на число судов в очереди на терминал. При этом учет взаимного влияния судов в терминале осуществляется путем введения в модели систем средних значений времени ожидания судов в очереди.

Полученные математические модели и алгоритмы на основе описываемых в статье вероятностных характеристик позволяют существенно повысить эффективность проектирования перегрузочных контейнерных терминалов в морских портах, обрабатывающих как каботажные, так и экспортно-импортные грузы. Применение указанных моделей позволяет производить оптимизацию процессов переработки экспортно-импортных и каботажных грузов путем оптимального планирования и оперативного управления этими процессами.

Математическая формулировка задачи

Одной из важнейших задач, возникающих при переработке контейнерных грузов, является разработка вероятностных моделей, адекватно описывающих процессы переработки. В работах автора [3; 4] рассматривались вопросы вероятностной формализации и оптимизации процессов обработки каботажных или экспортно-импортных судов. Ниже рассматриваются процессы совместной работы каботажных и экспортно-импортных судов, представленных в виде комбинированных сетей систем массового обслуживания (СМО). При этом учитывается ограничение на число судов в очереди.

Впервые потоки прихода в порт судов, перевозящих генеральные грузы, подробно рассмотрены в работах Б. В. Гнеденко. Обработка фактических данных по ряду портов показала, что гипотезу простейшего потока приходящих в порт судов в первом приближении можно принять с достаточной точностью. Простейший (стационарный пуассоновский) поток обладает свойствами стационарности, ординарности и отсутствием последействия.

После анализа данных по динамике грузооборота контейнерного терминала ПКТ за последние годы можно сделать вывод, что число переработанных контейнеров (а значит, и обработанных судов) в течение года от недели к неделе меняется незначительно, а значит, весь годовой период можно считать стационарным. Исключением являются только периоды, которые выпадают на новогодние праздники и 8 Марта.

Рассмотрим два контейнерных терминала, включающих S_1 и S_2 причалов. На терминалы поступают на обработку m_1 и m_2 экспортно-импортных судов. Потоки судов являются стационарными пуассоновскими и имеют интенсивность λ_1 и λ_2 . Между терминалами перевозки каботажных грузов можно рассматривать как последовательность циклических операций, когда m_3 судов перевозят груз от одного терминала к другому, а потом возвращаются и повторяют операцию. Предполагается, что каботажные и экспортно-импортные суда обладают одинаковыми характеристиками, то есть одинаковой контейнеровместимостью, а каботажные суда к тому же и одинаковой средней скоростью движения. Таким образом, математическое ожидание суммарного времени движения судов по маршруту в прямом и обратном направлениях $\bar{T}_m$ одинаковы.

При выполнении определенных условий можно рассматривать потоки прихода каботажных судов к терминалам как пуассоновские потоки.

При этом взаимное влияние различных терминалов, как показано ниже, будет осуществляться путем учета влияния значений математического ожидания среднего времени судов в очереди каждого из терминалов на интенсивность прихода этих судов в другой терминал.

Возникает задача определения математических ожиданий $\bar{d}_1$ и $\bar{d}_2$ числа судов, находящихся в очереди на первом и втором терминалах, а также математических ожиданий времени ожидания в очереди $\bar{T}_{ож1}$ и $\bar{T}_{ож2}$ и суммарного времени пребывания в терминалах $T_{\Sigma 1}$ и $T_{\Sigma 2}$.

При функционировании контейнерных терминалов в отдельные периоды времени могут возникать ситуации, когда загрузка причалов существенно возрастает. Предполагается, что если все причалы терминалов заняты, то диспетчер терминала ставит судно в очередь, если число судов в очереди d_1 и d_2 не превышает заданных чисел l_1 и l_2 . В противном случае суда передаются на смежные терминалы три и четыре.

Формализация может быть представлена в виде комбинированной сети СМО, где двум открытым СМО соответствует обработка экспортно-импортных судов, а замкнутой сети СМО — обработка каботажных судов.

Рассмотрим движение каботажных судов в прямом и обратном направлении. Время цикла операции T_{Σ} является случайной величиной. Необходимо определить математическое ожидание времени цикла, равное сумме математических ожиданий отдельных составляющих:

$$\bar{T}_{\Sigma} = \bar{T}_m + \bar{T}_{об1} + \bar{T}_{об2} + \bar{T}_{ож1} + \bar{T}_{ож2}. \quad (1)$$

При этом первые три слагаемых считаются известными, а два последних определяются методом последовательных приближений.

Интенсивность прихода каждого каботажного судна на первый терминал будет зависеть от времени пребывания судна вне этого терминала и определяться выражением

$$\lambda'_3 = \frac{1}{\bar{T}_{об2} + \bar{T}_{ож2} + \bar{T}_m}. \quad (2)$$

Соответственно результирующая интенсивность моментов прихода каботажных судов на первый терминал будет определяться интенсивностью λ'_3 и числом заявок, находящихся вне первого терминала:

$$\lambda_3 = \lambda'_3(m - \bar{d}_1).$$

Определим вероятность того, что каботажное судно находится в одном из терминалов. Выделим на оси времени отрезок, соответствующий суммарному времени пребывания каждого судна в терминале, то есть в очереди и на обработке. Тогда вероятность того, что хотя бы одно судно находится в терминале, будет пропорциональна времени пребывания этого судна в терминале. Но так как время пребывания этого судна в очереди и время обработки являются случайными величинами, то следует рассматривать математические ожидания этих величин. Тогда вероятность пребывания каботажного судна в первом терминале будет определяться выражением

$$p_3^{(1)} = \frac{\bar{T}_{ож1} + \bar{T}_{об1}}{\bar{T}_{\Sigma}}. \quad (3)$$

Аналогичные выражения получаются для вероятностных характеристик второго терминала.

Рассмотрим вероятностные характеристики экспортно-импортных судов.

Вероятность того, что хотя бы одно экспортно-импортное судно находится в терминале, будет пропорциональна интенсивности прихода каждого судна и суммарному времени пребывания этого судна в терминале. Тогда вероятность пребывания экспортно-импортного судна в первом терминале будет определяться выражением

$$p_1^{(1)} = \lambda'_1(\bar{T}_{об1} + \bar{T}_{ож1}) = \frac{\lambda_1}{m}(\bar{T}_{об1} + \bar{T}_{ож1}). \quad (4)$$

Таким образом, в первый терминал может поступить $m^{(1)} = m_1 + m_3$ судов, суммарной интенсивностью $\lambda^{(1)} = \lambda_1 + \lambda_3$.

Определение вероятностных характеристик

При определении вероятностных характеристик процессов целесообразно воспользоваться частной теоремой о повторении опытов [1, с. 35–39].

Поступление в терминал отдельных судов можно считать повторным проведением m_1 независимых испытаний, при этом экспортно-импортные суда могут оказаться в первом терминале с одной и той же вероятностью p_1 , определяемой выражением (4). Соответственно вероятность того, что каботажное судно находится не в первом терминале, обозначим как $q_1 = 1 - p_1$. Требуется найти все вероятности P_{n_1} того, что в терминале будет n_1 судов.

Число всех комбинаций такого рода равно $C_{m_1}^{n_1}$, то есть числу способов, какими можно из m_1 опытов выбрать n_1 , в которых произошло событие. Вероятность каждой комбинации по теореме умножения независимых событий равна $p^{n_1} q^{m_1 - n_1}$. Так как комбинации между собой несовместны, то

$$P_{n_1} = C_{m_1}^{n_1} p^{n_1} q^{m_1 - n_1} = \frac{m_1!}{n_1!(m_1 - n_1)!} p^{n_1} q^{m_1 - n_1}. \quad (5)$$

Аналогичным образом можно показать, что вероятность появления n_3 из m_3 каботажных судов будет определяться выражением

$$P_{n_3} = C_{m_3}^{n_3} p^{n_3} q^{m_3 - n_3} = \frac{m_3!}{n_3!(m_3 - n_3)!} p^{n_3} q^{m_3 - n_3}.$$

Соответственно вероятность появления $n_{\Sigma 1} = n_1 + n_3$ судов в первом терминале равна

$$P_{n_1 n_3} = P_{n_1} P_{n_3}.$$

Среднее суммарное число судов в очереди первого терминала имеет вид

$$d_1 = \begin{cases} \sum_{n_1=0}^{m_1} \sum_{n_3=0}^{m_3} P_{n_1} P_{n_3} n_{\Sigma 1} & \text{при } S_1 < n_{\Sigma 1} \leq l_1, \\ 0 & \text{при } n_{\Sigma 1} \leq S_1. \end{cases} \quad (6)$$

Среднее суммарное число судов в первом терминале можно найти по формуле

$$d_{\Sigma 1} = \sum_{n_1=1}^{m_1} n_1 P_{n_1} + \sum_{n_3=1}^{m_3} n_3 P_{n_3} \quad \text{при } n_{\Sigma 1} < l_1. \quad (7)$$

Соответственно вероятность того, что все экспортно-импортные и каботажные суда обработаны:

$$P_{0,1} = \sum_{n_1=0}^{m_1} \sum_{n_3=0}^{m_3} P_{n_1} P_{n_3} \quad \text{при } n_{\Sigma 1} < l_1. \quad (8)$$

Среднее время нахождения судна в очереди имеет вид

$$\bar{T}_{\text{ож}1} = \frac{d_1}{\lambda_1^{(1)}}. \quad (9)$$

Суммарное среднее время пребывания судна в первом терминале определяется выражением

$$\bar{T}_{\Sigma 1} = \frac{d_{\Sigma 1}}{\lambda^{(1)}}. \quad (10)$$

Аналогичные выражения можно записать для второго терминала.

Сложность расчетов вероятностных характеристик по выражениям (1)–(10) заключается в том, что не известны значения среднего времени ожидания судов в очереди на терминалы, а следовательно, и среднее общее время циклической операции $\bar{T}_{\Sigma}$.

Поэтому указанные значения определяются методом последовательных приближений.

На первой итерации значения $\bar{T}_{\text{ож}1}$ и $\bar{T}_{\text{ож}2}$ для обоих терминалов берутся равными нулю, а значения $\bar{T}_{\Sigma 1} = \bar{T}_{\text{об}1}$ и $\bar{T}_{\Sigma 2} = \bar{T}_{\text{об}2}$. В первом приближении определяются искомые вероятностные характеристики. В следующей итерации $\bar{T}_{\text{ож}1}$ и $\bar{T}_{\text{ож}2}$ берутся из выражения (9) и пересчитываются

значения $\bar{T}_{\Sigma 1}$, $\bar{T}_{\Sigma 2}$, $\bar{T}_{\Sigma}$. Итерационные расчеты продолжаются до тех пор, пока n -й итерации $\bar{T}_{\Sigma 1}$ и $\bar{T}_{\Sigma 2}$ будут незначительно отличаться от сумм $\bar{T}_{\text{ож}1} + \bar{T}_{\text{об}1}$ и $\bar{T}_{\text{ож}2} + \bar{T}_{\text{об}2}$.

Вывод

Полученные выражения позволяют определить вероятностные модели процессов обработки экспортно-импортных и каботажных контейнерных судов с учетом их взаимного влияния друг на друга. Кроме того, эти модели позволяют учесть ограничение на число судов в очереди. Использование разработанных вероятностных моделей позволяет существенно расширить возможности и увеличить точность расчетов вероятностных показателей процессов переработки контейнерных грузов.

Это позволяет более точно решать задачи по оптимальному планированию и оперативному управлению процессами обработки экспортно-импортных и каботажных судов.

Указанный подход был использован для оптимизации процессов переработки и выбора оптимального числа судов и причалов на контейнерных терминалах в портах «Мурманск» и «Дудинка» для ГМК «Норильский никель».

Список литературы

1. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. — М.: Издат. центр «Академия», 2005. — 576 с.
2. *Гнеденко Б. В.* Об определении оптимального числа причалов / Б. В. Гнеденко, М. Н. Зубков // Морской сборник. — М., 1964. — № 1.
3. *Гайнулин А. С.* Вероятностная формализация процессов обработки каботажных судов на контейнерных терминалах / А. С. Гайнулин, Ю. Я. Зубарев // Журнал Университета водных коммуникаций. — СПб.: СПбГУВК, 2011. — Вып. 1 (9).
4. *Зубарев Ю. Я.* Определение оптимальной загрузки контейнерного терминала при заданном времени ожидания / Ю. Я. Зубарев, А. С. Хвастунов // Вестник Гос. ун-та морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2013. — Вып. 4 (20).
5. *Зубарев Ю. Я.* Оптимизация процессов переработки каботажных грузов / Ю. Я. Зубарев, А. М. Тюкавин. — СПб.: Политехника, 2009. — 168 с.

В. Н. Абрамова,
канд. экон. наук,
ФГБОУ ВПО «Государственный морской
университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»;

М. В. Ботнарюк,
канд. экон. наук,
ФГБОУ ВПО «Государственный морской
университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОРСКОГО И ВНУТРЕННЕГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТА РОССИИ

STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF SEA AND INLAND WATER TRANSPORT OF RUSSIA

В статье выполнен обзор основных направлений развития морского и внутреннего водного транспорта в настоящий момент. Представлены краткая характеристика состояния отечественного морского флота и основные показатели работы водного транспорта и паромного сообщения Новороссийск–Сочи. Исследована структура и техническое состояние судоходных гидротехнических сооружений.

На основании проведенных исследований сделан вывод о том, что в качестве основных перспективных направлений развития морского и внутреннего водного транспорта следует выделить инвестирование строительства и модернизацию основных фондов не только на основе государственных целевых программ, но и в рамках государственно-частного партнерства.

This article gives an overview of the basic directions of development of sea and water transport currently. Presents the brief characteristic of a condition of the Russian marine, and the main indicators of water transport and ferry communication Novorossiysk–Sochi. The structure and condition of navigable hydraulic structures is investigated.

Based on our research concludes that as the basic perspective directions of development of sea and water transport should allocate investing in construction and modernization of fixed assets not only on the basis of targeted state programs, but in the framework of public-private partnership.

Ключевые слова: морской и водный транспорт, приоритетные пути развития, государственное участие.

Key words: sea transport, water transport, the priority ways of developing, state's participation.

ТРАНСПОРТНАЯ система является одним из важнейших факторов, под влиянием которых формируется экономика страны: размещаются производительные силы, решаются социально-экономические задачи в контексте ее инновационного развития и т. д. Особое значение транспортный фактор приобретает в случае неравномерного территориального размещения предприятий добывающих и перерабатывающих отраслей, а также населения, которое, с одной стороны, является трудовыми ресурсами, а с другой — потребителями создаваемых предпринимательскими и иными структурами благ.

Совокупность различных видов транспорта представляет собой транспортный комплекс страны, деятельность которого регулируется Министерством транспорта РФ. В соответствии с планом его деятельности на 2013–2018 гг. [9] основными направлениями развития транспортного комплекса страны являются:

- увеличение объемов строительства федеральных автомобильных дорог;
- доведение протяженности автомобильных дорог общего пользования федерального значения, соответствующих нормативным требованиям к транспортно-эксплуатационным показателям, до 44 085 км (83,2 % от общей протяженности);

- рост пропускной способности морских портов России на 301,65 млн т;
- повышение качественных характеристик внутренних водных путей;
- развитие инфраструктуры железнодорожного транспорта;
- развитие аэропортовой сети;
- развитие региональной авиации;
- транспортное обеспечение крупных спортивно-массовых мероприятий международного уровня.

Вместе с тем деятельность каждого вида транспорта направлена на решение определенных задач. Так, например, автомобильный (вследствие невысокой грузоподъемности и соответственно незначительной партионности) чаще всего используется для перевозок на близкие и средние расстояния. По железной дороге, как правило, доставляются грузы на средние и дальние расстояния. Также отметим, что по сравнению с автомобильным он отличается высокой партионностью (грузоподъемность одного полувагона составляет около 64 т) и возможностью формирования поездов, состоящих из нескольких десятков вагонов.

Однако для России как одной из крупнейших морских мировых держав значительную роль в ее развитии (и особенно во внешнеторговом направлении) играет морской и внутренний водный транспорт: так, в 2012 г. перевозки грузов морским транспортом (без учета судов смешанного река–море плавания) составили 19,24 млн т, а грузооборот — 24,5 млрд тонно-миль. При этом значительную часть перевозимых грузов составляет заграничное плавание (см. рис. 1).

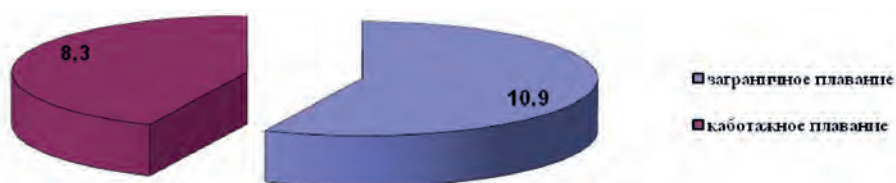


Рис. 1. Структура грузов, перевозимых морским транспортом в 2012 г. [7], %

Однако в настоящее время на морском транспорте существует серьезная проблема: уход российских судов под иностранный флаг (см. рис. 2).

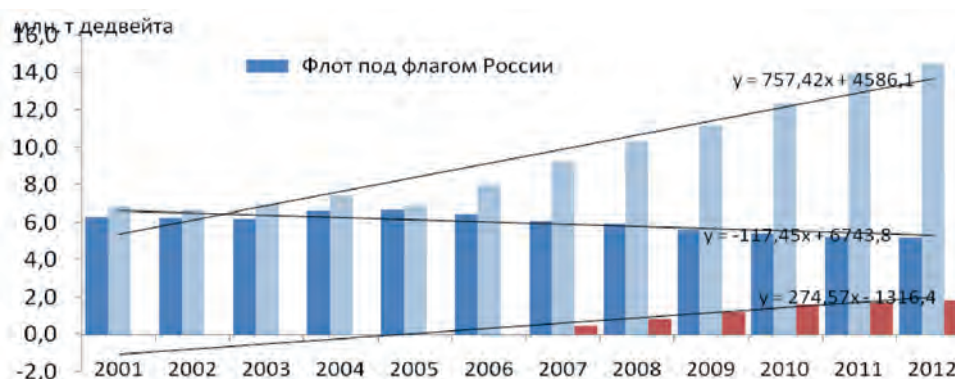


Рис. 2. Динамика дедвейта российского флота с 2001 по 2012 г. [7], млн т

Статистические данные показывают, что на 1 января 2013 г. общая численность транспортного флота, контролируемого Российской Федерацией, составляет 1441 ед. судов. При этом только 1096 судов работают под российским флагом, а в Российский международный реестр включено 568 судов [7]. В период с 2006 по 2012 г. наблюдается положительная тенденция роста объемов перевозок грузов, перевезенных морским флотом, контролируемым российскими судовладельцами под иностранным флагом (см. рис. 3).

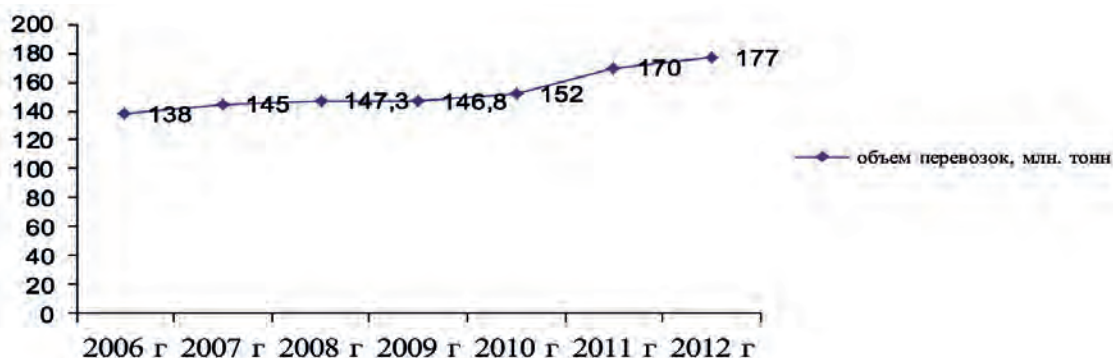


Рис. 3. Объемы перевозок грузов, перевезенных морским флотом, контролируемым российскими судовладельцами под иностранным флагом [7], млн т

Основными причинами создавшейся ситуации являются высокая доля налогов в стоимости транспортных услуг, а также строительство судов на инвестиции зарубежных компаний, которые требуют дальнейшей регистрации судов под «удобными» флагами [4, с. 36–39].

Однако в настоящий момент в этом направлении произошли достаточно серьезные изменения, оказывающие на сложившуюся ситуацию положительное влияние: с 2012 г. отменены требования о необходимости соблюдения 10-летнего срока пребывания судов в Реестре (Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с реализацией мер государственной поддержки судостроения и судоходства» № 305-ФЗ от 07.11.2011). И если раньше НДС и таможенная пошлина не начислялись только при условии регистрации судна в Международном реестре судов, то согласно изменениям, внесенным в Налоговый кодекс РФ [1], сегодня ввоз на таможенную территорию РФ судов, подлежащих регистрации в Российском Международном реестре судов, от налогообложения освобождается.

Особую роль для нашей страны играет морской транспорт и в обеспечении районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей, что обусловлено слабой обеспеченностью данных регионов железными и автомобильными дорогами. Так, в 2012 г. было отправлено 20,0 млн т грузов, что на 3,1 % больше, чем в предыдущем периоде (см. табл. 1).

Таблица 1

**Перевозки грузов в районы Крайнего Севера
и приравненные к ним местности [7], млн т**

Показатель	2011	2012	Темп прироста, %
ВСЕГО	19,4	20	+3,1
в том числе:			
Сухогрузы	15,6	15,7	+1
из них: каменный уголь	1,905	1,873	–1,7
Нефть и нефтепродукты	2,005	2,121	+5,8
Лесные грузы в плотках	1,763	2,237	+26,9

Но в направлении доставки внешнеторговых грузов в морские порты (для дальнейшей отправки морем) и их вывоза с территории порта морской транспорт проигрывает. Согласно статистическим данным, в 2012 г. основная доля грузов, отправляемых из морских портов, перевозилась автомобильным (63,6 %) и железнодорожным (21,6 %) транспортом. На трубопроводный транспорт приходится 10,0 %, на речной — 3,4 %, а на морской — 1,3 % (см. рис. 4).



Рис. 4. Структура грузооборота морских портов по критерию «доставка/отправка внешнеторговых грузов морем» в 2012 г. [5, с. 60–71; 6, с. 63–71], %

В качестве ключевых особенностей, определяющих столь незначительное использование (по сравнению с другими) внутреннего водного транспорта, выступают географическое расположение водных путей, а также сезонность навигации, что существенно понижает его конкурентоспособность. Вместе с тем необходимо отметить положительную тенденцию роста объемов перевозок в 2012 г. — темп прироста составил 12,2 % (см. табл. 2).

Таблица 2

Объем перевозок грузов внутренним водным транспортом России [7]

Показатель	Ед. изм.	2011	2012	Темп прироста, %
Перевезено грузов	млн т	126,6	142,1	+12,2
в том числе:				
внутреннее сообщение	»	108,8	112,6	+3,5
заграничное сообщение	»	18,0	29,5	+63,9
Грузооборот	млрд т-км	59,6	81,0	+35,9
в том числе:				
внутреннее сообщение	»	36,6	40,9	+11,7
заграничное сообщение	»	23,0	40,1	+74,3

Однако данные, представленные в табл. 3, также показывают, что как по объемам перевезенных грузов, так и по грузообороту ведущие позиции все же занимает заграничное сообщение: если в строке «внутреннее сообщение» значения темпа прироста составляют 3,5 % (по объемам) и 11,7 % (по грузообороту), то по заграничному сообщению — 63,9 и 74,3 % соответственно.

С целью обеспечения безопасности судоходства на внутреннем водном транспорте используются судоходные гидротехнические сооружения (СГТС). Согласно постановлению Верховного Совета РФ № 3020-1 от 27 декабря 1991 г., а также Федеральному закону «Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации» № 24-ФЗ от 7 марта 2001 г. СГТС являются федеральной собственностью и отнесены к объектам инфраструктуры внутренних водных путей Российской Федерации [7]. Они приняты на баланс и находятся в управлении администраций бассейнов внутренних водных путей и ФГУП «Канал им. Москвы».

Согласно статистическим данным, в настоящий момент на внутренних водных путях Российской Федерации расположены 723 судоходных гидротехнических сооружения, сосредоточенные в основном в европейской части страны. В их числе: 108 шлюзов, 11 гидроэлектростанций,

8 насосных станций, 115 дамб, 93 плотины, 11 аварийно-заградительных ворот, 31 водоспуск, 128 каналов, 218 — прочие [7]. Структура возрастного состава СГТС представлена на рис. 5.

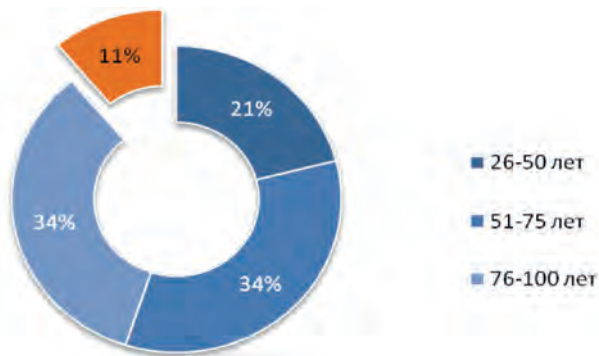


Рис. 5. Возрастной состав СГТС [7], %

Как видно из рис. 5, основная часть СГТС эксплуатируется довольно длительное время (более 68 %). В связи с этим на 1 января 2012 г. значительная часть СГТС находится в «ограниченно-работоспособном состоянии» — 61,8 %, в то время как в работоспособном состоянии всего 24,1 % (см. рис. 6).



Рис. 6. Структура технического состояния СГТС [7], %

Особо отметим, что существенная часть СГТС по критерию «Уровень безопасности» в настоящее время оценивается экспертами как «неудовлетворительное» (см. табл. 3), что является негативным фактором и требует своевременного принятия соответствующих мер.

Таблица 3

Оценка состояния отечественных СГТС по критерию «Уровень безопасности» [7], %

Показатель	2011 г.	2012 г.	Темп роста, %
Нормальный уровень безопасности	17,3	19,1	110,4
Пониженный уровень безопасности	64,5	64,8	100,5
Неудовлетворительный уровень безопасности	17,3	15,2	87,9
Опасный уровень безопасности	0,9	0,9	—

Как видно из табл. 4, с точки зрения безопасности более половины сооружений оцениваются как СГТС с «пониженным уровнем». Вместе с тем по сравнению с 2011 г. в 2012 г. наблюдается положительная тенденция роста количества сооружений по критерию «нормальный уровень бе-

зопасности»: с 17,3 до 19,1 %, а также сокращения по критерию «неудовлетворительный уровень безопасности»: с 17,3 до 15,2 %. Это говорит о том, что в течение одного года были проведены мероприятия по ремонту, после выполнения которых сооружения перешли на более высокий уровень. Однако по критерию «опасный уровень безопасности» структура не изменилась.

В связи с этим, а также с целью дальнейшего развития внутреннего водного транспорта РФ разработана и принята к руководству Подпрограмма «Внутренний водный транспорт» ФЦП «Развитие транспортной системы России (2010–2015 годы)» [7]. Объем финансирования мероприятий по вышеуказанной Подпрограмме в 2012 г. за счет средств федерального бюджета составил 12063304,6 тыс. руб. (в том числе 12063304,6 тыс. руб. — «капитальные вложения»). Бюджетные инвестиции составили 12063304,6 тыс. руб. [7].

Также важную роль играет внутренний водный транспорт в направлении Новороссийска и Сочи. Между этими портами было организовано регулярное паромное сообщение, основная цель которого — доставка материально-технических ресурсов для строительства олимпийских объектов. Регулярность сообщений достигается за счет установленного графика движения, что позволяет организовывать также доставку коммерческих грузов, доходы от перевозки которых покрывают часть убытков от доставки грузов для Олимпиады. Основные показатели работы паромного сообщения по направлению Новороссийск–Сочи (по итогам 2012 г.) представлены в табл. 4.

Таблица 4

Основные показатели работы паромного сообщения за 2012 г. [7]

Наименование	Выполнено круговых рейсов	Средняя загрузка	Объем перевозок		
			единиц АТС	тонны, с учетом массы АТС	Пассажиров (водители АТС и сопровождающие груз)
ВСЕГО по маршруту Новороссийск–Сочи–Новороссийск, в том числе:	316	84 %	44 504	1 165 712	47 818
— по направлению Новороссийск–Сочи, в том числе согласно заявкам «олимпийских» клиентов			22 407 11 784 (53 %)	705 796	24 068
— по направлению Сочи–Новороссийск			22 097	459 916	23 750

Обобщая вышеизложенное, приходим к следующим выводам. Транспорт — это отрасль народного хозяйства страны, обеспечивающая всестороннее и эффективное развитие ее экономики. Он также является мультипликатором, эффект которого распространяется далеко за пределы региона, в котором функционируют отдельные транспортные системы. Так, обеспечивая потребности в перевозках каботажных грузов, он создает условия для развития отечественного предпринимательства. Заключая контракты с иностранными партнерами, транспорт осуществляет внешнеторговые связи страны. При этом и в первом и во втором случае он выполняет не только экономическую функцию (при его непосредственном участии пополняются бюджеты разных уровней), но и социальную, поскольку в ряде случаев увеличение объемов торговли детерминирует рост рабочих мест.

Однако на транспорте, как и в любой отрасли (особенно это касается морского и внутреннего водного транспорта), существуют проблемы, которые не могут быть решены только на уровне отдельных бизнес-единиц. Требуется вмешательство государства, причем не только в виде федеральных целевых программ, но и на основе государственно-частного партнерства [8, с. 180–193], что позволит, по мнению авторов, решать транспортные (и не только) задачи более продуктивно.

Список литературы

1. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с реализацией мер государственной поддержки судостроения и судоходства: федеральный закон Рос. Федерации № 305-ФЗ от 7 ноября 2011 г. — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://base.garant.ru/12191486/> (дата обращения: 24.11.2013).
2. Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации ФЗ: федеральный закон Рос. Федерации от № 24-ФЗ 7 марта 2001 г. — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://base.consultant.ru> (дата обращения: 24.11.2013).
3. Постановление Верховного Совета РФ № 3020-1 от 27 декабря 1991 г. — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: (дата обращения: 24.11.2013).
4. Бабурина О. Н. Развитие морского транспорта России в условиях глобализации: роль государственной власти / О. Н. Бабурина // Транспорт Российской Федерации. — 2013. — № 2 (45).
5. Все грузы России // Морские порты. — 2012. — № 2.
6. Все грузы России // Морские порты. — 2013. — № 1.
7. Об основных итогах деятельности морского и внутреннего водного транспорта в 2012 году, задачах на 2013 год и среднесрочную перспективу до 2015 года — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: http://www.lgbu.ru/doc/04.03.2013/Result_2012.docx (дата обращения: 24.11.2013).
8. Панамарева О. Н. Государственно-частное партнерство как основной инструмент технического, технологического прорыва в развитии транспорта России и повышения ее конкурентоспособности / О. Н. Панамарева // Журнал Университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2011. — Вып. № 1.
9. План деятельности Министерства транспорта Российской Федерации на 2013–2018 годы — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.mintrans.ru> (дата обращения: 24.11.2013).

УДК 656.621/.626

А. В. Галин,
канд. техн. наук, доцент кафедры
управления транспортными системами
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ВНУТРЕННИЕ ВОДНЫЕ ПУТИ РОССИИ КАК ЧАСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ СТРАНЫ

INLAND WATERWAYS OF RUSSIAN FEDERATION AS PART OF COUNTRY INLAND TRANSPORT INFRASTRUCTURE

В работе рассматриваются внутренние водные пути, их развитие и состояние, возможность рационального использования как части единой транспортной инфраструктуры страны.

Evolution and condition of inland waterways as part of country inland transportation system. Possibilities of cargo transportation by means of inland waterways.

Ключевые слова: рационализация маршрутов, речные перевозки, транспортная инфраструктура.
Key words: route rationalization, river cargo transportation, transport infrastructure.

Ведение

В морских перевозках действие закона масштабной экономии, вызванное постоянным вводом в эксплуатацию судов все большей вместимости, явилось главным фактором рационализации глобальной системы маршрутов. Относительная свобода выбора транспортных путей и узлов освободила поле для проявления рыночных механизмов формирования новых шаблонов мировой системы транспортных путей. На суше необходимость строительства путей для транспортировки железнодорожным, автомобильным и речным транспортом приводит к определенному запаздыванию развития новых систем маршрутов, поскольку это связано с масштабными инвестициями в транспортную инфраструктуру [1, с. 13–18].

Как следствие, метод проб и ошибок, вполне пригодный для коммерческих экспериментов по выбору маршрутов на море, неприемлем для развития системы сухопутной интермодальной транспортировки. В данной статье рассматривается роль внутренних водных путей как части единой внутренней транспортной инфраструктуры страны. С этой точки зрения в работе рассмотрены этапы развития, нынешнее состояние внутренних водных путей, достоинства и недостатки, а также видение рационального использования этой части транспортной инфраструктуры.

Система внутренних водных путей РФ

К внутренним водным путям России относятся реки, озера, судоходные каналы, водохранилища. Общее количество рек в России достигает 2963. Большая часть которых, порядка 98 %, представляет собой небольшие реки длиной менее 26 км. Внутренние судоходные пути подразделяются на два вида: естественные (свободные) — реки и озера, используемые для судоходства в естественном состоянии (р. Амур, Лена, Енисей, Обь, Иртыш, Печора, Урал, Северная Двина, Нева, Вятка, Белая и др.), и искусственные (зарегулированные) — каналы, водохранилища и реки, режим стока и уровни которых значительно изменены возведенными на них гидротехническими сооружениями (р. Волга, Кама, Дон и др.). Речной транспорт является старейшим видом транспорта, на протяжении многих веков игравшего огромную роль в формировании и развитии государств. С его помощью налаживались отношения, развивалась торговля, перебрасывались войска. В нашей стране был освоен водный путь из «варяг в греки», соединивший Варяжское море с Русским, р. Волгу и Каму, реки Сибири и Дальнего Востока. В последующие периоды постоянно шло совершенствование обстановки, улучшение габаритов пути, шлюзование рек, строительство соединительных каналов, введение в эксплуатацию речных судов.

Состояние внутренних водных путей как части транспортной инфраструктуры страны в первую очередь характеризуется двумя составляющими: судоходными гидротехническими сооружениями, обеспечивающими движение судов по внутренним водным путям, и самим флотом.

Судоходные гидротехнические сооружения (СГТС) и речные порты

На внутренних водных путях Российской Федерации расположены 723 судоходных гидротехнических сооружений (СГТС), сосредоточенных в основном в европейской части страны, эксплуатируемые государственными бассейновыми управлениями водных путей и судоходства (ГБУВПиС) и ФГУП «Канал им. Москвы». Судоходные гидротехнические сооружения относятся к объектам федеральной собственности, являются объектами инфраструктуры внутренних водных путей, осуществляют пропуск судов, в том числе по межбассейновым каналам, поддерживают уровни в бьефах и глубины судовых ходов, а также обеспечивают выработку электроэнергии и водоснабжение населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

Расположенные на внутренних водных путях, СГТС эксплуатируются в течение длительного периода. Более 50 % СГТС находятся в эксплуатации 50–75 и более лет, сооружениям Беломорско-Балтийского канала исполнилось 72 года, «Канала им. Москвы» — более 65 лет, Волго-Донского — более 50 лет. При таких сроках, помимо очевидного морального износа, в полной мере проявляются процессы физического старения бетонных и железобетонных сооружений, металлоконструкций, механического и электротехнического оборудования, что требует увеличения

объемов ремонтно-восстановительных работ и реконструкции. По оценке сегодняшнего уровня безопасности судоходных гидротехнических сооружений, лишь 31 % сооружений имеют нормальный уровень безопасности, в то время как 58 % — пониженный, 10 % — неудовлетворительный и 1 % — угрожающий уровень безопасности.

При этом особую тревогу вызывает техническое состояние приводных механизмов и ворот судоходных шлюзов. Так, из 248 ворот 110 основных шлюзов в работоспособном состоянии находятся только 49 %, техническое состояние 128 ворот оценивается как ограниченно работоспособное (33 %) и предаварийное (18 %). Основными причинами существующего состояния ворот шлюзов являются срок (в среднем 40 лет) их эксплуатации и в ряде случаев недостаточная проработка проектно-конструкторских материалов.

К сожалению, в настоящее время в 2,5 раза выросла и аварийность на российских гидротехнических сооружениях. Ежегодно здесь происходит до 60 аварий. В 1993 г. в Свердловской области было разрушено Киселевское водохранилище, в результате был затоплен г. Серов, а общий ущерб составил 63,3 млрд руб. В 1994 г. в Башкирии пострадала Тирлянская плотина, погибли 29 человек, ущерб достиг 52,3 млрд руб. В результате затопления г. Ленска в 2001 г. были разрушены 2,7 тыс. домов, повреждены еще 1,5 тыс., общий ущерб составил более 8 млрд руб. Этот список можно продолжить.

На внутренних водных путях России функционируют 128 портов. Речные порты, построенные и оснащенные для обеспечения грузовых перевозок, хотя и обладают значительными резервами перегрузочных мощностей, однако качество этих резервов не соответствует современным требованиям рынка по состоянию и составу перегрузочной техники и уровню развития портовых терминальных комплексов. Износ перегрузочной техники в портах составляет около 50 %, в том числе средств малой механизации — до 80 % [3].

Состояние и развитие речных судов

Заложенная в 1970-х гг. программа развития речного транспорта была нацелена на создание крупнотоннажных судов, большей частью типа река–море, с осадкой более 3 м. Для эксплуатации такого флота необходима была полная перестройка водных путей, иными словами, в концепцию закладывалась подгонка внутренних водных путей под транспорт, что является трудоемким и затратным делом. Необходимо было провести углубление, спрямление, расширение водных путей, что не могло не отразиться на себестоимости перевозки. В ряде случаев для построенных судов не всегда и не везде обеспечивались объявленные глубины, в результате чего крупнотоннажный флот стал ходить с недогрузом, а малотоннажный и среднетоннажный флот потерял в скорости по причине эксплуатации крупнотоннажных судов. В связи с этим себестоимость речных перевозок в то время оказалась примерно на 25–30 % выше, чем у ближайшего конкурента — железнодорожного транспорта, оставаясь на этом уровне и в настоящее время.

Кроме того, построенный в 1970–1980 гг. флот устарел как физически, так и морально. Он постепенно списывается, а нового тоннажа современных проектов не появляется. Отдельным вопросом стоит отток флота под иностранные флаги и, следовательно, невозможность его эксплуатации на внутренних водных путях. Этот вопрос в настоящее время находится в рассмотрении. Согласно Концепции реформирования системы управления внутренними водными путями Российской Федерации разрабатываются механизмы обеспечения прохода иностранных судов по внутренним водным путям, включающие услуги по государственному регулированию мероприятий, связанных с открытием внутренних водных путей для прохода судов под флагами иностранных государств [3]. Следует отметить, что проход судов по внутренним водным путям не еще не означает возможности его постоянной коммерческой эксплуатации на внутренних водных путях РФ.

Роль внутренних водных путей в транспортной системе страны

В табл. 1 приведены данные об изменении протяженности транспортных сетей России по видам транспорта. Рассматривая эти изменения с середины прошлого века и до наших дней, мож-

но заметить определенные тенденции. Главная из них состоит в том, что относительная протяженность внутренних водных путей в Российской Федерации за период с 1950 г. по настоящее время уменьшилась с 41,5 до 10,58 %. Можно полагать, что эта тенденция сохранится в ближайшее время — не из-за уменьшения протяженности внутренних водных путей, а вследствие отсутствия их роста.

Таблица 1

Протяженность транспортной сети России

Вид транспортной сети	1950	2010
Железные дороги	25,25 %	8,82 %
Автомобильные дороги	31,28 %	73,23 %
Судоходные реки и каналы	41,45 %	10,58 %
Трубопроводы	1,36 %	6,53 %
Прочие	0,66 %	0,84 %

За этот же период времени относительная величина грузооборота на внутренних водных путях сократилась с 8,8 до 2,13 %, показывая тенденцию к дальнейшему сокращению. Это связано с ростом конкуренции и быстрым развитием других видов транспорта, в том числе трубопроводного, роль и значение которого, по известным причинам, значительно выросли.

Таблица 2

Грузооборот транспортной сети России

Вид транспорта	1950	2010
Железнодорожный транспорт	83,1 %	55,8%
Автомобильный транспорт	2,6 %	5,83 %
Внутренний водный транспорт	8,81 %	2,13 %
Трубопроводный транспорт	5,49 %	34,72 %
Воздушный транспорт	0 %	0,08 %

Показательными являются и другие цифры. Протяженность внутренних водных путей России является самой большой в мире, в настоящее время составляет 101,7 тыс. км. Это практически равно длине водных путей Китая (110 тыс. км), в 2,5 раза больше, чем в США (41 тыс. км), и в 13,5 раз больше, чем в Германии (7,5 тыс. км). В то же время загрузка внутренних водных путей России одна из самых низких в мире. На 1 км внутренних водных путей в России приходится 1 тыс. т перевозимого груза. В Китае на 1 км водных путей приходится примерно 10 тыс. т груза, в США — 12 тыс. т, а в Германии — более 30 тыс. т [2, с. 2–3].

Сегодня речным транспортом России перевозится 2,13 % грузов, из чего следует, что речной транспорт стоит на грани выхода из транспортной системы России и значимого влияния на экономику страны уже не оказывает. Кроме субъективных причин — состояния СГТС и речного флота, существует ряд объективных факторов, ограничивающих возможности данного вида транспорта.

1. Ограниченное время навигации, сезонность. В связи с климатическими условиями время использования данного вида транспорта на большей части территории страны возможно лишь в период с мая по октябрь. Это делает невозможным построение постоянной и ритмично работающей транспортной системы.

2. Отсутствие единой системы внутренних водных путей. Особенности географического ландшафта не позволяют образовать единую систему доставки грузов внутренними водными

путями в рамках всей территории страны. Существует отдельная внутренняя водная система европейской части страны, отдельные внутренние водные системы сибирских и дальневосточных рек. Обособленные водные системы не связаны между собой, что делает невозможным доставку грузов внутренним водным транспортом по территории всей страны без использования смежного транспорта.

3. Значительный, а зачастую непредсказуемый срок доставки грузов. Расстояние, проходимое речными судами от пункта погрузки до пункта выгрузки по естественной инфраструктуре реки, гораздо длиннее, чем у других видов транспорта, следующих по искусственно созданной транспортной инфраструктуре. Кроме того, скорость движения судов в реке на многих отрезках ограничена и в среднем составляет величину порядка 10 км/ч. Нередки длительные ожидания прохождения шлюзов, каналов и т. п., что делает непредсказуемым время доставки грузов.

Так, время доставки контейнера автомобилем из Санкт-Петербурга в Москву составляет 12 ч, ж/д транспортом — 24–36 ч, внутренними водными путями — 7 сут и более. Все это делает невозможным срочную и надежную доставку груза речным транспортом.

4. Высокая себестоимость транспортной инфраструктуры. Высокая себестоимость создания и поддержания в рабочем состоянии внутренней водной инфраструктуры не позволяет расширять сеть внутренних водных путей, снизить стоимость перевозки и привлечь дополнительные объемы грузов.

Вероятно, в рамках развития единой транспортной системы страны внутренние водные пути могли бы принять на себя перевозку определенных видов грузов, которые не подвержены влиянию рассмотренных ограничений, а, напротив, дают им преимущества. Таким образом, возможно будет освободить другие виды транспорта от этих перевозок, повысив пропускную способность системы транспортной инфраструктуры страны в целом.

К таким видам транспортной деятельности может относиться:

- перевозка крупнотоннажных и негабаритных грузов, доставка которых другими видами транспорта невозможна;
- доставка грузов в труднодоступные места, где нет транспортной инфраструктуры;
- перевозка сезонных грузов, не требующих срочной доставки;
- перевозка массовых грузов в прямом сообщении для создания запасов или заполнения складов и хранилищ.

Список литературы

1. Кузнецов А. Л. Механизмы рационализации маршрутов наземного распределения и выбора видов транспорта / А. Л. Кузнецов // Транспорт: наука, техника, управление. — 2011. — № 6.
2. Кривошеин В. А. О речном транспорте и его проблемах / В. А. Кривошеин // Природо-ресурсные ведомости. — 2012. — № 7.
3. Концепция реформирования системы управления внутренними водными путями Российской Федерации: утв. приказом Минтранса России № 112 от 9 июля 2009 г.

УДК 656.614.3

Т. Е. Маликова,
канд. техн. наук, доцент,
Морской государственный
университет им. адм. Г. И. Невельского

ДВУХФАКТОРНЫЙ РАНДОМИЗИРОВАННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИЗУЧЕНИЮ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЕНСАЦИОННОГО ПНЕВМОРЕГУЛЯТОРА В ШТАБЕЛЕ ТРУБ

RABDOMIZED EXPERIMENT OF TWO FACTORS IN STUDYING COMPENSATION PNEUMATIC CONTROLLER CONDITION IN A PIPE LAYDOWN

Исследовано влияние величины давления в пневморегуляторе от числа труб, которые перекрывают пневморегулятор, и от натяжения найтовов; в результате экспериментальных исследований получен расчетный график для определения избыточного давления в пневморегуляторе.

Dependence of the pressure value within a pneumatic controller on the amount of pipes covered by the pneumatic controller as well as on the tension of lashings; experiments done resulted in making up a nomogram chart for determining excessive pressure within the pneumatic controller.

Ключевые слова: двухфакторный эксперимент, планирование эксперимента, пневморегулятор, штабель труб, пневмотехнология, регулирование смещаемости грузов.

Key words: experiment of two factors, experiment planning, pneumatic controller, pipe laydown, pneumatic technology, cargo shifting control.

В МОРСКОМ государственном университете им. адм. Г. И. Невельского выполнялись комплексные исследования и разрабатывались новые технологии крепления грузов на морских судах. Основным исходным положением при разработке новых технологий является регулирование смещаемости грузов с использованием компенсационных пневморегуляторов. При этом избыточное давление воздуха внутри пневморегуляторов должно удовлетворять определенным требованиям, соответствующим заданному условию регулирования смещаемости определенного вида груза.

В частности, была разработана пневмотехнология обеспечения сохранной и безопасной перевозки штабеля труб на палубе судна [1, с. 849–850]. Регулирование смещаемости штабеля обеспечивается пневморегулятором, который располагается под верхним рядом труб в штабеле. Роль пневморегулятора — поддерживать постоянное натяжение найтовов, что исключает перекачивание, смещение или выпадение труб из штабеля, то есть его опасное разрушение, и способствует сохранению устойчивого состояния штабеля при его транспортировке на судне. Давление в пневморегуляторе рассчитывается из условия поддержания нужного натяжения найтовов. При снижении давления в пневморегуляторе его своевременно подкачивают, тем самым исключается необходимость в постоянном и нелегком физическом труде по натяжению обтягивающих средств.

Для изучения зависимости величины давления в пневморегуляторе от числа труб, перекрываемых устройством, и натяжения найтовов был поставлен полностью рандомизированный двухфакторный эксперимент. Предполагается, что количество труб, перекрытых оболочкой, и натяжение найтовов влияет на величину избыточного давления в пневморегуляторе. Для изучения этого взаимного влияния ставился факторный эксперимент типа 3×2 , для которого уровни обоих факторов были заданы фиксированными и количественными величинами.

Эксперимент ставился на стенде с подвижной платформой, оборудованном измерительным устройством для фиксирования углов наклона платформы. Для опытов использовались трубы

длиной 50 см и диаметром 10 см. Из них на стенде формировался штабель, внутри которого, под верхним рядом труб, располагался пневморегулятор. Полученный штабель обвязывался шпагатами, взятыми в качестве найтовов.

При планировании эксперимента было решено записывать по три показания при каждом из шести (3×2) экспериментальных условий, так как данные предыдущих экспериментов показали, что величина давления в пневморегуляторе весьма хорошо воспроизводила заметные различия между натяжением найтовов и количеством труб, перекрываемых устройством. Следует отметить, что не составляет труда полностью рандомизировать порядок проведения 18 испытаний — по три в каждом из 6 экспериментальных условий. Для этого были пронумерованы шесть вариантов экспериментальных условий цифрами от 1 до 6 и бросанием кости определили, какое из экспериментальных условий необходимо осуществлять первым, вторым, третьим и т. д., до тех пор пока не был определен порядок выполнения всех 18 испытаний.

При бросании кости получены следующие результаты: 6, 5, 4, 2, 3, 4, 5, 2, 1, 6, 6, X, 1, 3, 1, X, X, 4, X, 5, где повторные значения (X) пропускаются, если три таких значения уже получены ранее. Последний раз кость можно не бросать, так как в полученной на этот момент последовательности только один номер встречается дважды. Он и будет последним номером последовательности, где каждая из шести цифр встречается только три раза. В итоге получим схему проведения полностью рандомизированного эксперимента типа 3×2 (табл. 1). Благодаря рандомизации последовательность испытаний, представленная в табл. 1, достаточно хорошо разбросана по условиям эксперимента. Единственным ограничением на эксперимент является условие проведения трех наблюдений на каждый вариант испытания. Большим преимуществом для анализа данных, полученных в ходе предстоящего эксперимента, является тот факт, что число наблюдений одинаково для всех экспериментальных условий.

Таблица 1

**Схема проведения эксперимента по изучению влияния
натяжения найтовов и количества труб**

Количество труб	Натяжение найтовов	
	$t = 1$	$t = 2$
2	1 9, 12, 14	4 3, 6, 15
4	2 4, 8, 16	5 2, 7, 17
6	3 5, 13, 18	6 1, 10, 11

В эксперименте шесть экспериментальных условий, следовательно, существует пять степеней свободы между этими шестью вариантами и $2 \times 6 = 12$ степеней свободы внутри вариантов. Так как каждый уровень одного фактора сочетается с каждым уровнем другого, то две степени свободы можно приписать количеству труб (строки табл. 1) и одну степень свободы — натяжению найтовов (столбцы табл. 1). Таким образом, остается $5 - 2 - 1 = 2$ степени свободы между вариантами испытаний. Эти степени свободы относятся к взаимодействию между натяжением найтовов и количеством труб, перекрываемых пневморегулятором. Модель эксперимента в этом случае примет вид

$$X_{ijk} = \mu + P_i + T_j + PT_{ij} + \varepsilon_{k(ij)},$$

где P_i — соответствует количеству труб, перекрываемых пневморегулятором ($i = \overline{1; 3}$); T_j — натяжению найтовов ($j = \overline{1; 2}$); PT_{ij} — взаимодействию между двумя этими факторами; $\varepsilon_{k(ij)}$ — случайной ошибке в ячейке (i, j) , где $k = \overline{1; 3}$.

Для анализа этого эксперимента данные были собраны в соответствии со схемой рандомизации, представленной в табл. 1. Результаты эксперимента записаны в табл. 2.

Таблица 2

Данные двухфакторного эксперимента

Количество труб	Натяжение найтовов	
	$t = 1$	$t = 2$
$n = 2$	0,47 0,63 0,64	0,98 1,3 1,2
$n = 4$	0,31 0,29 0,27	0,61 0,57 0,56
$n = 6$	0,21 0,2 0,16	0,37 0,38 0,42

Для упрощения проведения дальнейшего анализа запишем данные эксперимента в табл. 3. Индексы при P и T указывают уровень этих факторов в каждом варианте испытаний. Проанализируем данные этой таблицы с помощью однофакторного дисперсионного анализа и найдем сумму квадратов между вариантами испытаний. Искомая величина в таблице выделена жирным шрифтом.

Таблица 3

Результаты расчетов однофакторного дисперсионного анализа

Варианты испытаний	P_2T_1	P_2T_2	P_4T_1	P_4T_2	P_6T_1	P_6T_2	Сумма
	0,47	0,98	0,31	0,61	0,21	0,37	
	0,63	1,3	0,29	0,57	0,2	0,38	
	0,64	1,2	0,27	0,56	0,16	0,42	
T_j	1,74	3,48	0,87	1,74	0,57	1,17	1,3689
$\sum_{i=1}^3 x_{ij}^2$	1,0274	4,0904	0,2531	1,0106	0,1097	0,4502	6,9414
	0,2209	0,9604	0,0961	0,3721	0,0441	0,1369	
	0,3969	1,69	0,0841	0,3249	0,04	0,1369	
	0,4096	1,44	0,0729	0,3136	0,0256	0,1764	
$SS_{\text{общ}}$							6,86535
$SS_{\text{исп}}$							1,769782
$SS_{\text{ош}}$							5,095568
T_j^2	3,0276	12,1104	0,7569	3,0276	0,3249	1,3689	1,873887
n	3	3	3	3	3	3	18
T_j^2/n	1,0092	4,0368	0,2523	1,0092	0,1083	0,4563	0,104105

Теперь вернемся к табл. 2 и применим к данным эксперимента методы двухфакторного дисперсионного анализа. Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчетов двухфакторного дисперсионного анализа

Количество труб	Натяжение найтова		P_i	Сумма блока
	$t = 1$	$t = 2$		
$n = 2$	0,47 0,63 0,64	0,98 1,3 1,2	1,45 1,93 1,84	5,22
$n = 4$	0,31 0,29 0,27	0,61 0,57 0,56	0,92 0,86 0,83	2,61
$n = 6$	0,21 0,2 0,16	0,37 0,38 0,42	0,58 0,58 0,58	1,74
T_j	3,18	6,39	9,57	
T_j^2	10,1124	40,8321	91,5849	50,9445
$SS_{\text{найтова}}$				0,57245
P_i^2	27,2484	6,8121	3,0276	37,0881
$SS_{\text{трубы}}$				1,0933
Сумма SS				1,66575
$SS_{\text{общ}}$				6,86535
Взаимодействие				5,1996
Результаты дисперсионного анализа				
Источник изменчивости	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	
Найтовы	1	0,57245	0,57245	
Трубы	2	1,0933	0,54665	
Взаимодействие	2	5,1996	2,5998	
Ошибка	12	1,66575	0,138813	
Сумма	17	8,5311		
$F_{2,12}$	4,123908	значимы трубы		
$F_{1,12}$	3,938046	значимы найтовы		
$F_{2,12}$	18,72886	значимо взаимодействие		

Используя приведенные выше результаты, можно проверить три следующие гипотезы:

— $H_1: P_i = 0$, для всех i (нет влияния количества труб),

$F_{2,12} = 0,54665/0,138813 = 4,123908$, эта величина значима при 1 %-ном уровне значимости;

— $H_2: T_j = 0$, для всех j (нет влияния натяжения найтовок),

$F_{1,12} = 0,57245/0,138813 = 3,938046$, эта величина значима при 1 %-ном уровне значимости;

— $H_3: PT_{ij} = 0$, для всех i и j (нет влияния взаимодействия изучаемых факторов),

$F_{2,12} = 2,5998/0,138813 = 18,72886$, эта величина значима при 1 %-ном уровне значимости.

Результаты этих трех проверок показывают, что величина давления в пневморегуляторе зависит от числа труб, которые перекрывает пневморегулятор, и от натяжения найтовок; чем больше

рядов труб перекрывает пневморегулятор, тем при меньшей величине избыточного давления обеспечивается заданное натяжение найтовов. На основании проведенных исследований был получен расчетный график для определения давления в пневморегуляторе (рис. 1).

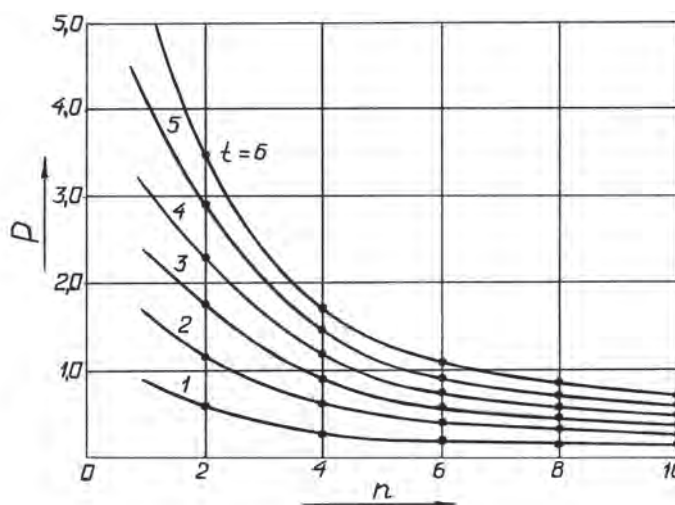


Рис. 1. Расчетный график для определения давления в пневморегуляторе:

$2n$ — число труб, которое перекрывает оболочка;

p, t — относительные значения давления в пневморегуляторе и натяжения найтовых

Результаты эксперимента были использованы при разработке новой технологии крепления штабеля труб на палубе судна для определения наилучшего местоположения регулятора в штабеле, а также в методике расчета технологических параметров устройства [2, с. 30–33].

Список литературы

1. Пат. 2241632 Российская Федерация, МПК⁷ В 63 В 25/24. Способ крепления штабеля труб: [текст] / Москаленко А. Д., Маликова Т. Е., Шпак А. С.; заявитель и патентообладатель Морс. гос. ун-т им. адм. Г. И. Невельского. — № 2000130744; заявл. 07.12.00; опуб. Бюл. «Изобретения. Полезные модели». — М., 2004.
2. Маликова Т. Е. Методика расчета технологических параметров средств крепления смещающихся грузов на основе компенсационных пневмооболочек: [текст] / Т. Е. Маликова, А. Д. Москаленко, А. С. Шпак // Вестник Морского гос. ун-та. Проектирование и расчет конструкций из мягких оболочек. — Владивосток: Морс. гос. ун-т им. адм. Г. И. Невельского, 2003.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО
ДЛЯ АНАЛИЗА ДЛИНЫ ОЧЕРЕДИ
И ЗАДЕРЖКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ И АВТОМАШИН
ПРИ ПЕРЕВАЛКЕ НАВАЛОЧНЫХ ГРУЗОВ В МОРСКИХ ТЕРМИНАЛАХ
(На примере ОАО «Новороссийский зерновой терминал»)**

**THE USAGE OF MONTE-KARLO METHOD
FOR AN ANALYSIS OF QUEUING LENGTHS AND DELAYS
OF RAILWAY WAGONS AND AUTO TRACKS
BY HANDLING BULK CARGOES IN SEA TERMINALS
(For example of JSC “Novorossiysk grain terminal”)**

В статье предложено использование метода Монте-Карло для оценки длины очереди и задержки железнодорожных вагонов и автомашин, возникающих при разгрузке транспортных средств на приемных пунктах морского терминала.

The article suggests the usage of Monte-Karlo method for evaluation of queuing lengths and delays of railway wagons and auto tracks arising during unloading transports on receiving stations of the terminal.

Ключевые слова: метод Монте-Карло, система массового обслуживания, железнодорожные вагоны, автомашины, зерновой терминал, приемные пункты для разгрузки транспортных средств.

Key words: Monte-Karlo method, queuing theory, railway wagons, auto tracks, grain terminal, receiving stations for unloading transports.



КСПОРТЕРЫ зерна доставляют навалочный груз на морской терминал в автомашинах и железнодорожных вагонах (например, ОАО «Новороссийский зерновой терминал»). Автомашины и железнодорожные вагоны разгружаются на приемных разгрузочных пунктах терминала.

Одной из важнейших задач своевременной разгрузки транспортных средств, а именно железнодорожных вагонов и автомобильного транспорта, является определение оптимального количества приемных разгрузочных пунктов, которые оборудованы подземными приемными бункерами и ленточными транспортерами, расположенными в подземных галереях под бункерами [1; 2]. В трех приемных разгрузочных пунктах для железнодорожных вагонов зерновой груз с вагонов высыпается в бункер через решетку, на которую уложен подъездной железнодорожный путь. Практический анализ эксплуатационной производительности разгрузочных пунктов для железнодорожных вагонов, произведенный в течение 2012 г., показал, что в течение одного часа разгружаются

8 вагонов. Из приемного бункера через затвор-питатель груз поступает на продольные ленточные транспортеры, расположенные под бункерами, а затем в приемный башмак ковшового элеватора нории. Нории поднимают груз в верхнюю часть конвейерной системы для дальнейшей передачи на ленточные раздаточные транспортеры и распределения его в силосы.

Автомашина заезжает на платформу приемного разгрузочного пункта, которая затем наклоняется и зерновой груз высыпается в приемный бункер под платформой. Далее технологический процесс ничем не отличается от случая, когда происходит выгрузка железнодорожных вагонов. С учетом суммарной мощности разгрузочных пунктов для выгрузки автомашин, так как используются три разгрузочных пункта, можно считать, что выгрузка одной автомашины происходит в течение 10 мин. Для разгрузки автотранспорта необходимо иметь на участке разгрузки оптимальное количество приемных разгрузочных пунктов, которые сокращают очередь ожидания автотранспортом разгрузки. Необходимо отметить, что площадь территории на терминале, выделенная под стоянку автотранспорта, ограждена и ограничена. В пиковые периоды года длина очереди автомашин для выгрузки простирается на многие километры. По этой причине в районе с. Владимирка г. Новороссийска был построен терминал для автомашин, ожидающих разгрузки.

В статье рассматриваются математические и имитационные модели, которые могут быть использованы для оценки задержки транспорта и длины очереди в зависимости от различного уровня потока и условий их обработки (выгрузки) [2; 3]. Эта оценка произведена в соответствии с разгрузочной способностью приемных пунктов как для железнодорожных вагонов, так и для автомашин.

Для оценки задержки транспорта и длины очереди необходимо измерить продолжительность разгрузки автомобильного и железнодорожного транспорта на разгрузочных пунктах. Время ожидания разгрузки транспортного средства измеряется в зависимости от следующих условий:

- пункт разгрузки свободен в момент времени прибытия транспортного средства;
- транспортное средство находится в очереди, прежде чем достигает пункта разгрузки.

Для разработки математической модели работы приемных пунктов [2] воспользуемся тем, что автомобильный транспорт разгружается в среднем по времени 10 мин с учетом трех разгрузочных пунктов, а железнодорожный с учетом трех разгрузочных пунктов — 6–7,5 мин. Это время разгрузки транспортных средств было определено в ходе проведения хронометражных наблюдений в 2012 г. Рассматривая поток транспортных средств как поток требований разгрузки в системе массового обслуживания (СМО), имеющий показательный закон распределения для каждого вида транспортного средства (железнодорожный и автомобильный транспорт), определяем две простые СМО, соответствующие реальным условиям эксплуатации. Так как время выгрузки как для автомобильного, так и для железнодорожного транспорта имеет постоянное значение, то, пользуясь обозначениями Д. Кендалла (табл. 1 и 2) [1; 2], определяем для железнодорожного транспорта тип СМО: $M/D/1$. Очередь транспортных средств подчиняется правилу: «первым пришел — первым обслужен (ПППО)». Для автомобильного транспорта будет тип СМО: $M/D/1$ и ПППО соответственно.

Таблица 1

Основные обозначения Д. Кендалла

Обозначение	Пояснение
P_0	Вероятность начального состояния системы (система свободна)
P_i	Вероятность того, что в очереди находятся $(i - 1)$ заявок
Θ	Интенсивность нагрузки системы
L_q	Средняя длина очереди
L	Среднее число транспортных средств в системе
w_q	Среднее время ожидания в очереди
w	Среднее время ожидания в системе

Таблица 1
(Окончание)

M	Символ, обозначающий, что поток — пуассоновский, либо длительность обслуживания распределена по экспоненциальному закону
D	Время обслуживания постоянно
n	Число требований
c	Число каналов обслуживания
μ	Интенсивность обработки заявок
λ	Интенсивность поступления заявок на обработку

Таблица 2

Формулы аппарата теории массового обслуживания

№ п/п	Обозначение Кендалла	Используемые формулы	Ограничения
1	$M/M/1$	$\Theta = \frac{\lambda}{\mu} < 1; \quad L = \frac{\Theta}{1 - \Theta};$ $L_q = \frac{\Theta^2}{1 - \Theta}; \quad w_q = \frac{\Theta}{\mu(1 - \Theta)};$ $w = \frac{1}{\mu(1 - \Theta)}$	Нет ограничений на количество транспортных средств в системе
2	$M/M/C$	$\Theta = \frac{\lambda}{C\mu} < 1;$ $P_n = \frac{(C\Theta)^n}{n!} \cdot P_0, \text{ если } 0 \leq n \leq C - 1;$ $P_n = \frac{C^c}{C!} \cdot \Theta^n P_0, \text{ если } n \leq C \geq;$ $P_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^{c-1} \frac{(C \cdot \Theta)^i}{i!} + \frac{(C \cdot \Theta)^c}{C!} \cdot \frac{1}{1 - \Theta}};$ $L_q = \frac{(C\Theta)^c}{C!} \cdot \frac{\Theta}{(1 - \Theta)^2} \cdot P_0; \quad L = L_q + C\Theta;$ $w_q = \frac{L_q}{\lambda}; \quad w = \frac{L}{\lambda}$	Нет ограничений на количество транспортных средств в системе
3	$M/D/1$	$\Theta = \frac{\lambda}{\mu} < 1;$ $w_q = \frac{\Theta}{2\mu(1 - \Theta)}; \quad w = \frac{2 - \Theta}{2\mu(1 - \Theta)};$ $L_q = \frac{\Theta^2}{2(1 - \Theta)}; \quad L = \frac{\Theta(2 - \Theta)}{2(1 - \Theta)}$	Нет ограничений на количество транспортных средств в системе

Таблица 2
(Окончание)

4	$M/D/C$	$\Theta = \frac{\lambda \cdot \text{const}}{c}; \quad w = \frac{B}{c(1-\Theta)\lambda},$ где $B = \frac{1}{2} \left[c(c-1)(P(0) + P(1)) + \sum_{i=2}^{c-1} P(i) [c(c-1) - i(i-1)] - (c - c\Theta)^2 + c \right]$ Неизвестные вероятности $P(0), P(1), \dots, P(c-1)$ находятся извлечения корней уравнения $z^c = e^{c\Theta(z-1)}.$ Метод нахождения корней этого уравнения хорошо известен в теории исследования операций [3]	Нет ограничений на количество транспортных средств в системе
---	---------	--	--

Соотношения, приведенные в табл. 2, для случая $M/D/1$ и ПППО будут справедливы для железнодорожного транспорта. В этих соотношениях λ представляет собой интенсивность потока требований разгрузки железнодорожных вагонов, время обслуживания которых изменяется по показательному закону, а μ — среднее значение интенсивности выгрузки. Если имеются свободные пункты выгрузки, то по прибытии транспортное средство устанавливается на свободный пункт выгрузки случайным образом. Относительная интенсивность обслуживания железнодорожного транспорта Θ , среднее время ожидания в системе w будут определяться соотношениями, приведенными в табл. 2.

Соотношения, приведенные в табл. 2, для случая $M/D/1$ и ПППО будут справедливы и для автомобильного транспорта. Для этого случая время выгрузки — величина постоянная и равна const . Относительная интенсивность обслуживания автомобильного транспорта Θ , среднее время ожидания в системе транспортного средства w будут определяться соотношениями, приведенными в табл. 2.

Практическое использование вышеприведенных соотношений

Рассмотрим использование имитационной модели для случая выгрузки зерна с автомашин. Используя данные табл. 3, в которой приведены количество автомашин, обработанных в ОАО «НЗТ» в 2012 г., рассчитаем среднегодовое значение относительной интенсивности обслуживания (Θ_r) на приемных разгрузочных пунктах для автомашин за 2012 г., а также среднегодовое время ожидания выгрузки автомашин в системе. Для автомобильного транспорта будет справедлив тип СМО $M/D/1$ и ПППО. Тогда согласно формуле, приведенной в табл. 2:

$$\Theta_r = \lambda_r / \mu_r = 91,05/144 = 0,63 < 1.$$

Так как $\Theta_r < 1$, то это свидетельствует о том, что очередь не будет расти до бесконечности.

$w_{gr} = \Theta_r / [2 \mu_r (1 - \Theta_r)] = 0,63 / [2 \cdot 144 \cdot (1 - 0,63)] = 0,0059$ сут, или 8,5 мин, что практически означает очень малое среднегодовое время ожидания.

Таблица 3

Сводная таблица по переработке автомашин за 2012 г.

Месяцы	Кол-во автомашин, (шт.)	Среднее значение интенсивности прибытия, λ (авто/сут) $\lambda = \text{кол-во автомашин в месяце} / \text{кол-во дней в месяце}$	Среднее значение интенсивности выгрузки, μ (авто/сут) $\mu = 6 \text{ авто/ч} \cdot 24 = 240 \text{ авто/сут}$
Январь	3716	119,87	144
Февраль	3433	122,61	144

Таблица 3
(Окончание)

Март	5363	173	144
Апрель	1475	49,17	144
Май	905	29,19	144
Июнь	1763	58,77	144
Июль	2311	74,55	144
Август	3690	123	144
Сентябрь	6005	200,17	144
Октябрь	1700	54,84	144
Ноябрь	1571	52,37	144
Декабрь	1087	35,06	144
Итого за год: 33 019		$\lambda_r = 1092,6/12 = 91,05$	$\mu_r = 144$

Поток автомобильного транспорта рассматривается как поток требований разгрузки в системе массового обслуживания (СМО), имеющего показательный закон распределения [2; 3]. Так как время выгрузки зерна для случая разгрузки зерна с автомашин — величина постоянная и равна 10 мин (или 0,167 ч), то определяем: $M/D/1$, $\lambda_r = 91,05$ авто/сут, μ — величина постоянная и равна 144 авто/сут. Используя формулу $RN = e^{-\lambda t}$, где RN — случайные числа в области 0–1 в таблице случайных чисел, определяем время прибытия автомашин по формуле $t = -1/\lambda \ln(RN)$ и составим табл. 4 прибытия и обработки автомашин.

$$t = -1/\lambda \ln(RN) = -1/91,05 \cdot \ln(RN) \text{ (сут)} = -0,26 \ln(RN) \text{ (ч)}.$$

Таблица 4

Сводная таблица имитации прибытия и обработки автомашин в 2012 г.

Прибытие			Обработка		
Случайные числа (RN)	Время между прибытиями автомашин, ч	Общее время, ч	Начало, ч	Конец (ч)	Время в очереди, ч
0,1400	0,5112	0,5112	0,5112	0,6782	0
0,0188	1,0332	1,5444	1,5444	1,7114	0
0,6681	0,1049	1,6493	1,7114	1,8784	0,0621
0,4315	0,2185	1,8678	1,8784	2,0454	0,0106
0,2040	0,4133	2,2811	2,2811	2,4481	0
0,3319	0,2866	2,5677	2,5677	2,7347	0
0,1285	0,5335	3,1012	3,1012	3,2682	0
0,5484	0,1562	3,2574	3,2682	3,4352	0,0108
0,6454	0,1139	3,3713	3,4352	3,6022	0,0639
0,9737	0,0069	3,3782	3,6022	3,7692	0,2240
Всего в очереди:					0,3714

Среднее время ожидания автомашин в очереди равно

$$w_q = 0,3714/10 = 0,0371 \text{ ч} = 2,226 \text{ мин.}$$

Если это время рассчитать для системы $M/D/1$ со значением $\Theta = 0,63$, то

$$w_{qr} = \Theta_r / [2 \mu_r (1 - \Theta_r)] = 0,63 / [2 \cdot 144 \cdot (1 - 0,63)] = 0,0059 \text{ сут, или } 8,5 \text{ мин.}$$

Рассчитанное среднее время ожидания автомашин в очереди с использованием имитационного моделирования и таблицы случайных чисел оказывается меньше, чем время, рассчитанное для СМО с параметрами $M/D/1$.

Теперь рассмотрим использование имитационной модели для случая выгрузки зерна с вагонов. Используя данные табл. 5, в которой приведено количество вагонов, обработанных в ОАО «НЗТ» в 2012 г., рассчитаем среднее значение относительной интенсивности обслуживания на приемных разгрузочных пунктах для вагонов за 2012 г., а также среднее время ожидания выгрузки вагонов в системе. Для железнодорожного транспорта будет справедлив тип СМО $M/M/1$ и ПППО. Тогда согласно формуле, приведенной в табл. 2:

$$\Theta_r = \lambda_r / \mu_r = 142,33/192 = 0,74 < 1.$$

Так как $\Theta_r < 1$, то это свидетельствует о том, что очередь не будет расти до бесконечности.

Таблица 5

Сводная таблица по переработке вагонов за 2012 г.

Месяцы	Кол-во, вагонов (шт.)	Среднее значение интенсивности прибытия, λ , ваг./сут $\lambda = \text{кол-во вагонов в месяце} / \text{кол-во дней в месяце}$	Среднее значение интенсивности выгрузки, M (ваг./сут) $\mu = 8 \text{ ваг./ч} \cdot 24 = 192 \text{ ваг./сут}$
Январь	5309	171,26	192
Февраль	4806	171,64	192
Март	5907	190,55	192
Апрель	5590	186,33	192
Май	3595	115,97	192
Июнь	4029	134,3	192
Июль	1931	63,29	192
Август	4245	136,94	192
Сентябрь	5643	188,1	192
Октябрь	4616	148,9	192
Ноябрь	3681	122,7	192
Декабрь	2417	77,97	192
Итого за год:	51 769	$\lambda_r = 51769/12 = 142,33$	$\mu_r = 192$

Так же как и для случая разгрузки автотранспорта, используем метод Монте-Карло для случая разгрузки зерна с вагонов. Так как время разгрузки зерна с вагонов — величина постоянная и равна 7,5 мин, или 0,125 ч, то определяем: $M/D/1$, $\lambda_r = 142,33$ ваг./сут, μ — величина постоянная и равна 192 ваг./сут. Используя формулу $t = -1/\lambda \ln(RN)$ для определения времени прибытия вагонов и таблицу случайных чисел в области 0–1, составим табл. 6 прибытия и обработки вагонов.

$$t = -1/\lambda \ln(RN) = -1/142,33 \cdot \ln(RN) \text{ (сут)} = -0,17 \ln(RN) \text{ (ч)}.$$

Таблица 6

Сводная таблица имитации прибытия и обработки вагонов в 2012 г.

Прибытие			Обработка		
Случайные числа (RN)	Время между прибытиями вагонов, ч	Общее время, ч	Начало, ч	Конец, ч	Время в очереди, ч
0,8140	0,0350	0,0350	0,0350	0,1600	0
0,5636	0,0975	0,1325	0,1600	0,2850	0,0275
0,9661	0,0059	0,1384	0,2850	0,4100	0,1466
0,8565	0,0263	0,1647	0,4100	0,5350	0,2453
0,1609	0,3106	0,4753	0,5350	0,6600	0,0597
0,9546	0,0079	0,4832	0,6600	0,7850	0,1768
0,3413	0,1827	0,6659	0,7850	0,9100	0,1191
0,7625	0,0461	0,7120	0,9100	1,0350	0,1980
0,3062	0,2012	0,9132	1,0350	1,1600	0,1218
0,6739	0,0671	0,9803	1,1600	1,2850	0,1797
Всего в очереди:					1,2745

Среднее время ожидания вагонов в очереди равно

$$w_q = 1,2745/10 = 0,1275 \text{ ч} = 7,65 \text{ мин.}$$

Если это время рассчитать для системы $M/D/1$ со значением $\Theta = 0,74$, то среднее время ожидания вагонов в очереди будет определяться:

$$w_{qr} = \Theta / [2 \mu_r (1 - \Theta)] = 0,74 / [2 \cdot 192 \cdot (1 - 0,74)] = 0,0074 \text{ сут, или } 10,66 \text{ мин.}$$

Таким образом, при недостатке исходных данных и при невозможности экспериментировать на реальном объекте использование имитационного моделирования в управлении операциями разгрузки транспортных средств позволяет произвести: расчет времени обработки транспортных средств (железнодорожные вагоны и автомашины); анализ длины очереди и задержки железнодорожных вагонов и автомашин; математически оправдать оптимальное количество приемных пунктов для производства разгрузки вагонов и автомашин, так как от этого зависит время ожидания транспортных средств разгрузки; разработку управленческих решений по увеличению количества приемных пунктов на терминале.

Список литературы

1. Саати Т. Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения / Т. Л. Саати. — М.: Сов. радио, 1971.
2. Аблязов К. А. Управление операциями в портах с использованием системы массового обслуживания / К. А. Аблязов, Г. Л. Козенкова, Л. И. Алимова // Транспорт: наука, техника, управление. — 2009. — № 8. — С. 46–49.
3. Хемди А. Таха. Введение в исследование операций / А. Таха Хемди. — М.: Вильямс, 2007.
4. Вершинин О. Е. Компьютер для менеджера / О. Е. Вершинин. — М.: Высш. шк., 1990. — С. 82–90.

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

УДК 656.6

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

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ МОРСКИХ ПУНКТОВ ПРОПУСКА

ECONOMIC ASPECTS OF MARINE BORDER CROSSING POINT

В статье предлагается рассмотреть систему «единого окна» и влияние этой системы на работу современных морских пунктов пропуска, а также экономические аспекты развития новых морских пунктов пропуска.

The article is invited to review the system of “single window” and the impact of this system on the work of modern marine border crossing points, as well as the economic aspects of the new sea border crossing points.

Ключевые слова: система «единого окна», модель данных ВТО, основные факторы, экономические аспекты.

Key words: “single window” system, the data model WCO, the main factors, the economic aspects.



РАССМОТРИМ повышение экономической эффективности работы морских пунктов пропуска на внедрении системы «единого окна» и влиянии этой системы на работу пограничных пунктов пропуска.

Система «единого окна» — это инструмент для скоординированного контроля на границах, который поможет построить более современную и эффективную инфраструктуру морских пунктов пропуска.

Единое окно долгие годы является приоритетным направлением политики ВТО. В сущности, в основе системы «единого окна» лежит механизм электронных технологий переработки товаров, выдачи лицензий и разрешений государственными учреждениями, а также для транспорта и логистических мероприятий, связанных с грузом импорта, экспорта, транзита и пограничного контроля.

Система «единого окна» может обеспечить несколько преимуществ.

Эти выгоды могут быть разбиты на четыре основных момента:

- 1) скорейшее выявление и снижение повышенного риска при пересечении границы;
- 2) повышение качества и согласованности исходных данных, предоставляемых промышленностью;
- 3) снижение бремени бюрократизма и волокиты для отрасли международной торговли;
- 4) улучшение интеграции информационного и технического обеспечения пограничных органов.

Среда «единого окна» позволит создать передачу одного стандартного набора данных, распределенных и используемых всеми трансграничными регулирующими органами.

Ключевым моментом в этих региональных задачах является то, что каждый из планов по региональному «единому окну» имеет несколько иной аспект. Например, Европейский Союз стремится к улучшению движения товаров через свои государственные границы, в то время как АТЭС сосредоточен на безопасности в цепочке поставок.

Сократить расходы на стандарты и системы обслуживания, а также будущие потребности развития государственных органов и торговли может только современная модель требований ВТО по устройству «единого окна» и тесного международного сотрудничества.

Также это позволит снизить издержки и стоимость нормативной отчетности при одновременном повышении качества представляемых данных.

Модель данных Всемирной таможенной организации разделяет те же принципы, что и пересмотренная Киотская конвенция ВТО [1]:

- общие наборы данных;
- требования к максимальному набору данных;
- единые электронные сообщения;
- минимально необходимый набор информации от стран;
- максимальная пропускная способность при минимальной информации.

Современная модель данных ВТО имеет ряд преимуществ. Во-первых, она способствует повышению уровня безопасности трансграничной торговли, позволяя наладить эффективное взаимодействие различных информационных систем. Во-вторых, эта модель предоставляет возможность использования упрощенных процедур уполномоченными экономическими операторами; осуществляет быстрый выпуск в свободное обращение; дает возможность избежать сбора лишних данных; позволяет снизить издержки; сокращает объем информации; унифицирует стандарты информационного обеспечения экспортных и импортных операций; способствует эффективному взаимодействию между государственными службами; создает единую структуру электронного обмена; более эффективный обмен данными по импорту и экспорту; использует «экспортную» информацию при импорте и наоборот; включает в себя требования к элементам данных, предъявляемые другими службами, занятыми в сфере администрирования границы.

Сезонное повышение объемов пропускаемых судов обостряет проблему сокращения сроков нахождения товаров в морских портах, а также вывоза уже оформленных в таможенном отношении товаров с территории морских пунктов пропуска. Среди факторов, влияющих на сроки перевозки товаров через морские пункты пропуска, в том числе следующих транзитом через территорию РФ, можно отметить следующие.

1. Сложность внутреннего портового документооборота, в большинстве случаев вызванная отсутствием соглашений между владельцами терминалов и грузовым транспортным сообщением.

2. Сложная система получения разрешений на перевозку тяжелых или негабаритных грузов с применением больших коэффициентов удорожания перевозки по отношению к обычно применяемому тарифу.

3. Неслаженная работа железной дороги. Необходимость подачи заявки на железнодорожную перевозку не менее чем за 15 дней до начала перевозки, а также сложности с наличием подвижного состава, требующегося для подачи под погрузку, сложности с перевозом негабаритного груза и подготовкой вагонов.

4. Завышенные транспортные тарифы на грузовые перевозки, которые на практике носят скорее запретительный, чем стимулирующий характер.

5. Слабая развитость терминальных систем в местах перевалки, необходимых для организации мультимодальных перевозок контейнеризованных грузов больших объемов.

Учитываются также и риски утраты, повреждения или порчи груза в пути следования. То есть гарантии судоходных линий и их ответственность, обеспеченная в том числе высоким развитием института страхования морской перевозки по отношению к аналогичным институтам, существующим в России и используемым в качестве мер защиты интересов заказчика железнодорожной перевозки.

Таможенные администрации должны работать совместно с уполномоченными экономическими операторами для обеспечения максимальной безопасности и облегчения функционирования международной цепи поставок, начинающейся на ее пограничной территории или проходящей через нее [1].

Это то, что пытаются достичь модель данных ВТО, которая является примером отраслевой стандартной модели данных. Ее основная цель заключается в стандартизации определения объектов и атрибутов в рамках обмена данными между различными заинтересованными сторонами в трансграничной торговле.

Создание общегосударственных баз данных разрешительных документов — приоритетная государственная задача. Если, например, оформление загранпаспорта является государственной услугой, то и оформление грузовой таможенной декларации — также государственная услуга. И сбор всех дополнительных данных (сертификатов, дополнительных документов и разрешений) — это задача того таможенного поста, в который поступила декларация [2, с. 253–258].

Построение межведомственных баз данных для хранения разрешительных документов — важная задача, которая должна иметь статус национального проекта. Опыт наших соседей свидетельствует, что при наличии государственной воли и национальной программы такие задачи могут успешно решаться. Так, в 2010 г. была создана общегосударственная электронная база данных выданных лицензий в Республике Македония, а в 2011 г. — общегосударственная база разрешений Республики Казахстан. Участники ВЭД (граждане этих стран) уже не работают с бумажными документами [1]. Первые результаты работы показали существенное сокращение предпосылок к коррупции. Система в Казахстане создавалась усилиями Министерства связи, система в Македонии — усилиями таможенной службы. И по информации македонского делегата на конференции Комиссии Таможенного союза в Москве в апреле этого года, на всю разработку общегосударственной системы македонской таможне потребовалось всего 17 месяцев.

На 1 июля 2011 г. участниками Конвенции по облегчению международного морского судоходства 1965 г. (FAL) являются 114 стран, общий торговый флот которых составляет 90,31 % валовой вместимости всего мирового торгового флота. Между тем Республика Беларусь и Республика Казахстан, в отличие от Российской Федерации, участниками этой Конвенции не являются, и грузооборот единственного для этих двух стран морского порта, предназначенного для международных морских перевозок, — порта «Актау», несопоставим с грузооборотом российских морских портов.

Частью 4 ст. 15 Конституции РФ установлено, что общепризнанные принципы и нормы международного права и международные договоры Российской Федерации являются составной частью ее правовой системы. Если международным договором Российской Федерации установлены иные правила, чем предусмотрены законом, то применяются правила международного договора [2, с. 4].

Учитывая изложенное, необходимо установить для морских перевозчиков иные правила по представлению документов по прибытию и убытию с территории Таможенного союза в связи с принятыми Российской Федерацией обязательствами в сфере международного морского права.

Рассмотрим экономические аспекты развития новых морских пунктов пропуска. При новом строительстве или реконструкции морских пунктов пропуска необходимо в первую очередь учитывать пропускную способность пункта пропуска и уровень его международной значимости. Морские пассажирские терминалы как участки пунктов пропуска должны также соответствовать возможностям порта, принимающего морские пассажирские суда.

Превышение фактической пропускной способности над проектной не может являться единственным и достаточным основанием для принятия решения о реконструкции пункта пропуска. Любые проекты строительства и реконструкции пунктов пропуска должны иметь четкие финансово-экономические обоснования и подтверждение финансирования заинтересованных смежных ведомств [3, с. 324].

Приоритетными направлениями развития системы морских пунктов пропуска через государственную границу РФ Росграница считает в первую очередь создание единой современной инфраструктуры пунктов пропуска в границах порта, а также разработку технологических схем, способствующих сокращению времени осуществления контрольных операций. Разработка тех-

нологических схем должна происходить не только при участии государственных контрольных органов, но и стивидоров, общественных организаций.

Основным финансовым инструментом в ходе осуществления программ по улучшению состояния пунктов пропуска является Федеральная целевая программа.

Росграницей разработана Федеральная целевая программа «Государственная граница Российской Федерации 2012–2020 годов», которая была утверждена Правительством Российской Федерации 5 июня 2012 г. Росграница при формировании мероприятий ФЦП руководствовалась необходимостью обеспечения внешнеэкономической деятельности, исходя из актуальной информации в движении внешнеторговых грузов, перемещения людей через пункт пропуска, синхронизации обустройства пунктов пропуска с обустройством транспортной инфраструктуры и развитием пунктов пропуска соседних государств.

Одним из основных приоритетов ФЦП является развитие инфраструктуры пунктов пропуска через государственную границу Российской Федерации в Арктике. В рамках мероприятий ФЦП планируется реконструкция в 2014–2020 гг. морского пункта пропуска «Мурманск», техническое перевооружение морского пункта пропуска «Архангельск» в 2018–2020 гг.

Также Правительство РФ с протокольными решениями Морской коллегии предусмотрело мероприятия по обустройству морских пунктов пропуска, находящихся на арктическом участке государственной границы Российской Федерации («Анадырь», «Архангельск», «Беринговский», «Мурманск»).

Также запланированы мероприятия по обустройству четырех морских пунктов пропуска на северо-западном участке: «Большой порт “Санкт-Петербург”», «Брусничное», «Калининград», «Усть-Луга».

Государственно-частное софинансирование также является эффективным механизмом привлечения долгосрочных инвестиций, направленных на развитие инновационных проектов и важных секторов экономики. Уже введен в эксплуатацию ряд морских пунктов пропуска с использованием механизма государственно-частного софинансирования. Это, например, энергетические терминалы в портах «Темрюк», «Усть-Луга», «Восточный», «Кавказ», «Новороссийск», «Оля», «Высоцк», «Светлый», «Пригородное», уникальный пассажирский пункт пропуска «Морской фасад» (Санкт-Петербург).

Однако техническое обустройство — не единственный способ повысить эффективность функционирования пунктов пропуска. Необходимо делать упор на использование современных инновационных технологий и глобальных информационных систем, обеспечивающих быстрый и качественный государственный контроль, предварительное информирование и регулирование транспортных потоков.

В 2010 г. были проведены обследования объектов ведомственного сегмента Пограничной службы ФСБ России, государственной системы изготовления, оформления и контроля паспортно-визовых документов нового поколения с составлением актов готовности к оснащению программно-техническими комплексами и центрами обработки данных, включая решения по системе информационной безопасности.

В результате обследования разработаны согласованные с ФСБ России проектные решения для оснащения пунктов пропуска и пограничных российских ведомств.

На основании разработанных проектных решений к концу 2012 г. 27 морских пунктов пропуска были оснащены программно-техническими комплексами и центрами обработки данных контроля паспортно-визовых документов нового поколения.

При успешной и эффективной реализации основных целевых программ можно ожидать высокого уровня функционирования морских пунктов пропуска, который будет обеспечивать скорое прохождение обязательной процедуры контроля и безопасность иностранных граждан, прибывающих на территорию Российской Федерации.

Комплекс мероприятий по обустройству морских пунктов пропуска приведет к росту туристического потока, развитию международной торгово-промышленной деятельности, к укреплению культурных связей и социально-экономическому развитию данного региона в целом.

Список литературы

1. ВТО. Рамочные стандарты безопасности и облегчения мировой торговли. — Июнь 2005.
2. Лимонов Э. Л. Внешнеторговые операции морского транспорта и мультимодальные перевозки / Э. Л. Лимонов. — СПб.: ИЦ «Выбор», 1997.
3. Прокофьев В. А. Информационные технологии управления перевозками: учеб. пособие для транспортных вузов / В. А. Прокофьев. — СПб., 1998.
4. Patrick M. Alderton Reeds sea transport operation and economics / M. Patrick // Adlard Coles Nautical. — L., 2011. — 324 с.

УДК 338.23

А. А. Бырбыткин,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

Г. М. Курошева,
д-р экон. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ПРОБЛЕМЫ ПРЕОДОЛЕНИЯ КРИЗИСНЫХ ПРИЗНАКОВ В ЭКОНОМИКЕ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

ANALYSIS OF THE REASONS FOR WORSENING THE STATE OF THE TRANSPORT COMPLEX OF RUSSIA

В статье рассматриваются деятельность транспорта России, в том числе морского и внутреннего водного транспорта, характеристика степени износа всех видов транспорта, а также прослеживается взаимосвязь инвестиционных вложений транспортного комплекса с его малоэффективным развитием.

The article examines the activities of Russian transport, including sea and inland waterway transport, the wear characteristics of all types of transport, and also traced the relationship of investments transport complex with its inefficient development.

Ключевые слова: несостоятельность, фиктивное и преднамеренное банкротство, кризисное состояние, эффективность, транспорт, морской и внутренний водный транспорт, грузоперевозки, грузооборот, износ, инвестиции.

Key words: insolvency, fictitious and deliberate bankruptcy, state of crisis, efficiency, transport, marine and inland water transport, cargo, cargo turnover, depreciation, investments.

В НАСТОЯЩЕЕ время существует потребность в объективной оценке действительного состояния экономики предприятий транспортного комплекса. Особое значение имеет использование научно-объективных методов выявления кризисных признаков (предбанкротственного состояния) в стадии возможного их преодоления.

В статье приведены результаты экономического анализа основных показателей деятельности транспортного комплекса, выявлены основные причины их ухудшения и даны рекомендации по их устранению.

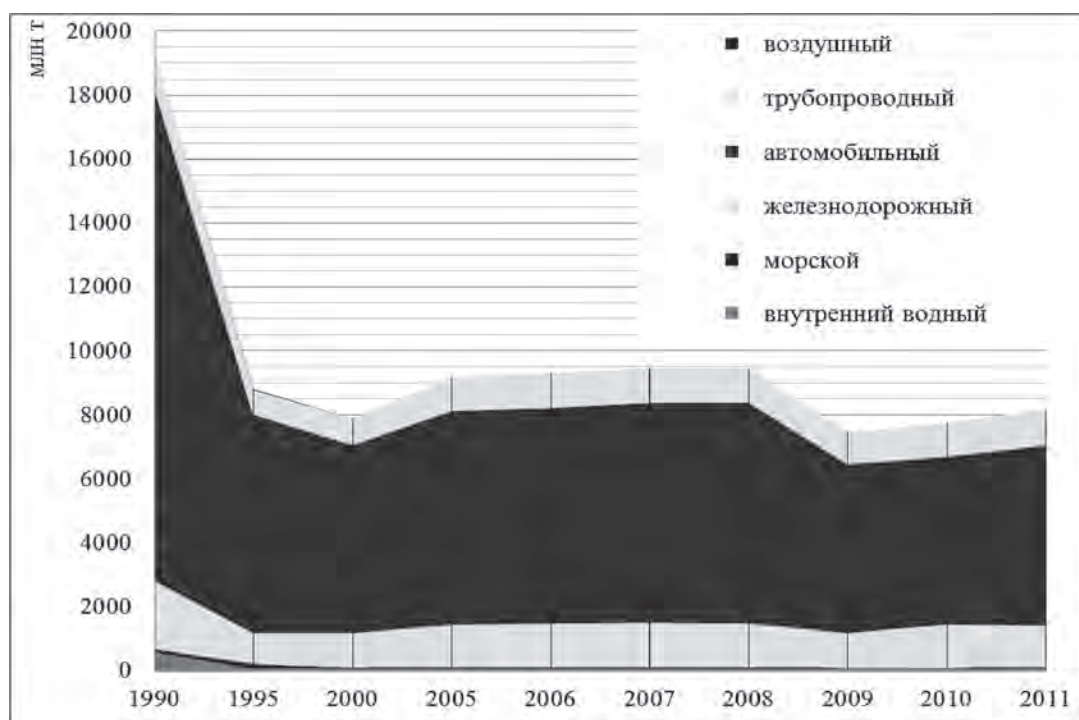


Рис. 1. Динамика перевозки грузов по видам транспорта

Из рис. 1 видно, что за период 1990–2011 гг. динамика одного из основных показателей транспортной системы ухудшалась по всем видам транспорта, кроме трубопроводного. Объем грузоперевозок в 2011 г. сократился в 2,35 раза по сравнению с 1990 г.

Наименьшее сокращение объема перевозок грузов произошло на железнодорожном и трубопроводном транспорте.

С нашей точки зрения, это связано с тем, что именно по этим видам транспорта контроль и поддержка государства были наибольшими.

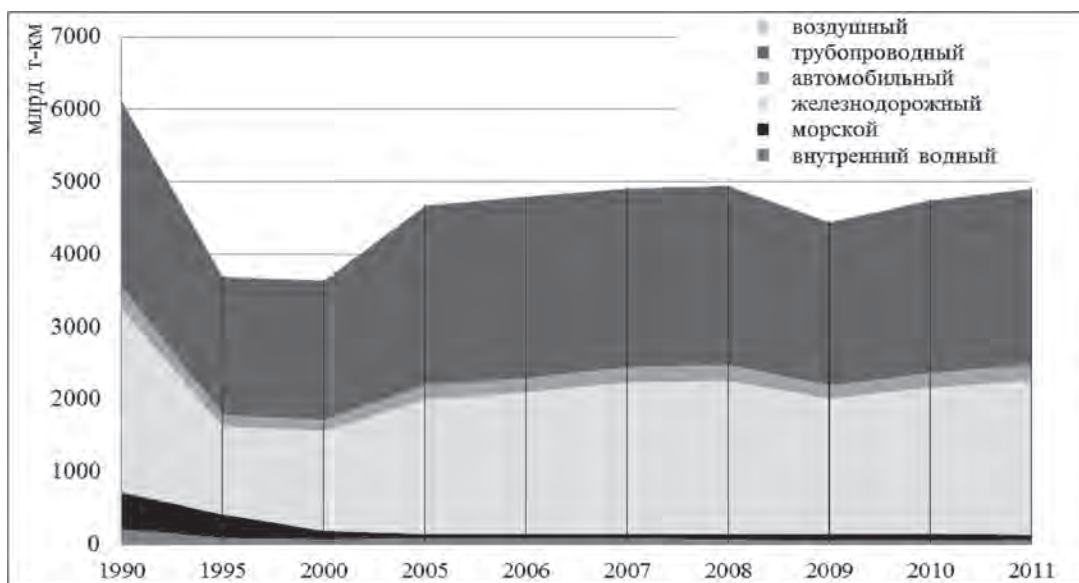


Рис. 2. Грузооборот по видам транспорта

Динамика грузооборота, приведенная на рис 1, показывает наибольшее его снижение в период с 1995 по 2000 г. Начиная с 2000-го наблюдался рост объемов грузооборота по всем видам транспорта.

Наибольший рост грузооборота в этот период имел воздушный транспорт. Грузооборот данного сегмента транспортной системы увеличился с 2,6 до 4,9 млрд т-км (табл. 1). В анализируемом периоде прирост грузооборота его составляет 88,5 %.

Грузооборот трубопроводного транспорта, несмотря на более высокие показатели перевозки грузов по сравнению с 1990 г., не смог достичь объемов 1990 года.

Для железнодорожного и автомобильного транспорта после существенного снижения грузооборота в начале 1990-х гг. характерен стабильный рост, за исключением периода наступления мирового экономического кризиса 2008 г., что сказалось на совокупном показателе грузооборота по всем видам транспорта.

Грузооборот морского и внутреннего водного транспорта за этот период сократился в 5,2 раза, с 772 до 138,5 млрд т-км. Если такая же тенденция не будет предотвращена, стратегически важные элементы транспортной системы, жизненно необходимые многим регионам и государству в целом, с малым количеством собственных ресурсов и резервов не смогут существовать и развиваться без должной государственной поддержки, что не обеспечит транспортную безопасность России. Примером этого может послужить ситуация, сложившаяся в Якутии в октябре-ноябре 2013 г., когда была объявлена чрезвычайная ситуация в связи с недопоставкой продовольствия и других необходимых товаров [1–6].

Наряду с ухудшением основных показателей для транспорта России наблюдается резкое сокращение транспортных средств, что видно из табл. 1.

Таблица 1

**Динамика наличия транспортных средств
(на конец года, тыс. шт.)**

	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Грузовые транспортные средства:									
рабочий парк груженых железнодорожных вагонов (в среднем в сутки)	252	240	270	276	289	287	221	328	393
грузовые автомобили (включая пикапы и легковые фургоны) всего	2937	4401	4848	4929	5168	5349	5323	5414	5545
в том числе:									
в собственности граждан	798	1568	2300	2440	2627	2818	2857	2950	3097
Пассажирские транспортные средства:									
автобусы общего пользования	128	109	79	72	69	64	65	63	72
легковые автомобили — всего	14 195	20 353	25 570	26 794	29 405	32 021	33 084	34 354	36 415
в том числе в собственности граждан	13 688	19 097	24 125	25 282	27 755	30 300	31 341	32 629	34 624
трамвайные вагоны	13,3	12,1	10,3	9,9	9,7	9,4	9	8,8	8,6
троллейбусы	13,2	12,2	11,4	11,3	11,2	11,2	11	11	11
вагоны метрополитена	5,7	5,8	6,1	6,2	6,3	6,3	6,3	6,3	6,5
гражданские воздушные суда	8	6,5	5,5	5,6	5,6	5,9	6	6	6,2

Таблица 1
(Окончание)

Морские и речные транспортные суда, в том числе:									
морские пассажирские и грузопассажирские транспортные суда	158	78	60	61	60	61	60	56	58
морские грузовые транспортные и нетранспортные суда (без грузопассажирских)	5351	3830	3514	3417	3244	3033	2805	2723	2704
речные пассажирские и грузопассажирские суда	2,3	1,9	2	2	2	2	2,1	2,1	2,1
речные грузовые транспортные и вспомогательные суда (без грузопассажирских)	37	31,8	31,4	31,3	29,5	29,5	29,4	29	28,5

Особенно следует отметить сокращение транспортных средств на морских и речных грузовых и пассажирских перевозках. По табл. 1 видно, что с 1995 г. происходит непрерывное сокращение транспортных средств морского и речного транспорта. Наличие морского транспорта, существенно влияющего на международные торгово-транспортные отношения, сократилось вдвое, с 5,5 до 2,8 тыс. шт. Количество судов внутреннего водного транспорта сократилось на 22 %, с 39,3 до 30,6 тыс. шт.

Эффективность работы предприятий транспорта зависит от количества и качества основных фондов. В табл. 2 представлена степень износа основных фондов предприятий транспорта. За период с 2005 по 2011 г. степень износа в целом по транспорту увеличилась в 1,5 раза. Следует отметить, что на предприятиях морского и речного транспорта наблюдается одна из наибольших степеней износа по сравнению с другими видами транспорта. Так, степень износа морского транспорта составила в 2011 г. 34,7 %, а речного — 50,7 %.

Таблица 2

**Степень износа основных фондов организаций основных видов деятельности транспорта
(на конец года, в %)**

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Транспорт — всего	23	27,5	28,1	29,1	32,2	32,9	34,7
в том числе:							
деятельность железнодорожного транспорта	14,4	18,5	21,5	23,8	27	28,9	30,4
деятельность автомобильного (автобусного) пассажирского транспорта, подчиняющегося расписанию	47,8	49,6	46,9	47,6	50,5	52,7	55,3
деятельность городского электрического транспорта	13,4	13,4	13,9	13,5	14,8	14,3	15,6
деятельность автомобильного грузового транспорта	50,1	52,9	45,3	44,5	45,7	45,9	42,1
транспортирование по трубопроводам	41,9	45,6	45	42,7	45,4	48	50,1
деятельность воздушного транспорта	50,9	50,3	48,3	48,2	49,8	47,7	45
деятельность морского транспорта	55	51,2	45,9	39,4	34,2	32,1	34,7
деятельность внутреннего водного транспорта	60,9	69,7	71,4	66,8	66	60,9	50,7

По данным Росстата, на 2011 г., доля судов речного транспорта в возрасте то 21 до 30 лет составляет 25,6 %, более 30 лет — 52,3 %, морского транспорта — соответственно 47,9 и 26,9 %. Эти результаты свидетельствуют, что более 75 % транспортных средств морского и внутреннего водного транспорта находятся в эксплуатации более 21 года, что может являться основанием считать морской и речной транспорт морально устаревшим [1–6].

Резкое увеличение морального и физического износа на морском и речном транспорте, с нашей точки зрения, связано с проводимой неэффективной инвестиционной политикой. В табл. 3 приведено постепенное увеличение объема инвестиций, изменения долей и целей использования инвестиционных средств. В 2004 г. на вложения в основные средства выделялось 70,29 % инвестиционных средств, а в 2011 г. этот показатель снизился до 43,58 %. Остальные средства уходят не на совершенствование и развитие производства, а на инвестиционные вложения, в основном связанные с рынком ценных бумаг. Данные табл. 2 и 3 свидетельствуют о прямой зависимости увеличения степени износа основных средств транспорта от уменьшения доли инвестиций в производство [7–10].

Таблица 3

**Использование денежных средств на инвестиционную деятельность
(на конец года, млн руб.)**

	Использовано на инвестиционную деятельность — всего	Из них			
		приобретение объектов ОС, доходных вложений в материальные ценности и нематериальные активы	в %	приобретение дочерних организаций, ценных бумаг и иных финансовых вложений, займы другим организациям и пр.	в %
2004	201 187	141 409	70,29 %	59 778	29,71 %
2005	281 734	197 165	69,98 %	84 569	30,02 %
2006	463 332	241 016	52,02 %	222 316	47,98 %
2007	1 286 133	566 216	44,02 %	719 917	55,98 %
2008	1 410 849	627 227	44,46 %	783 622	55,54 %
2009	1 243 152	662 424	53,29 %	580 728	46,71 %
2010	1 534 212	742 177	48,38 %	792 035	51,62 %
2011	1 798 147	783 610	43,58 %	880 690	48,98 %

Уменьшение доли инвестирования в производство и развитие транспортной отрасли при ухудшении морального и технического состояния основных средств и снижении основных показателей деятельности транспорта, с нашей точки зрения, может являться признаком преднамеренного ухудшения состояния транспортной системы, ведущим к высокой степени вероятности несостоятельности (банкротства) предприятий транспортного комплекса.

Действующие федеральные стандарты по выявлению признаков кризисных явлений, фиктивности и преднамеренности банкротства носят рекомендательный характер, позволяющий уходить от ответственности лицам, намеренно ведущим к ухудшению состояния морского и речного транспорта и иных видов транспорта России.

Основным выводом проведенного анализа является острая необходимость уточнения существующих методов диагностики преднамеренности ухудшения состояния и снижения платежеспособности предприятий, использование которых позволит разработать научно обоснованные антикризисные меры на предприятиях транспортного комплекса.

Список литературы

1. Российский статистический ежегодник. 2012: стат. сб. / Росстат. Р76. — М., 2012. — С. 481.
2. Российский статистический ежегодник. 2012: стат. сб. / Росстат. Р76. — М., 2012. — С. 483.
3. Транспорт в России. 2009: стат. сб. / Росстат. — М., 2009. — Т. 65. — С. 52.
4. Транспорт в России. 2007: стат. сб. / Росстат. — М., 2007. — Т. 65. — С. 23.
5. Транспорт в России. 2005: стат. сб. / Росстат. — М., 2005. — Т. 65. — С. 29 — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: http://www.gks.ru/bgd/regl/b05_55/IssWWW.exe/Stg/1-35.htm (дата обращения: 21.11.2013).
6. Транспорт в России: стат. сб. / Госкомстат России. — М., 2003. — Т. 65. — 182 с. — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: http://www.gks.ru/bgd/regl/B03_55/IssWWW.exe/Stg/d010/i010340r.htm (дата обращения: 21.11.2013).
7. Финансы России. 2012: стат. сб. / Росстат. — М., 2012. — 462 с. — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: http://www.gks.ru/bgd/regl/b12_51/IssWWW.exe/Stg/03-19.htm (дата обращения: 21.11.2013).
8. Финансы России. 2008: стат. сб. / Росстат. — М., 2008. — 453 с. — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: http://www.gks.ru/bgd/regl/b12_51/IssWWW.exe/Stg/03-19.htm (дата обращения: 21.11.2013).
9. Финансы России. 2008: стат. сб. / Росстат. — М., 2008. — 453 с. — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: http://www.gks.ru/bgd/regl/b08_51/IssWWW.exe/Stg/03-19.htm (дата обращения: 21.11.2013).
10. Финансы России. 2004: стат. сб. / Росстат. — М., 2004. — 332 с. — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: http://www.gks.ru/bgd/regl/b04_51/IssWWW.exe/Stg/d010/i010670r.htm (дата обращения: 21.03.2013).

УДК 629.12.001.2

А. Е. Богданов,
канд. техн. наук, главный специалист
ОАО «Системы управления»

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ УРОВНЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СОЗДАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ В РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ

TO THE QUESTION TO THE ASSESSMENT OF LEVEL OF COMPETITIVENESS OF CREATION AND MAINTENANCE OF SEA EQUIPMENT IN MARKET CONDITIONS

В работе предложена постановка задачи на разработку методологии оценки уровня конкурентоспособности морской техники через субъекты хозяйствования, которые могут быть опосредованными носителями ее свойства через свои товары и услуги.

In work the problem definition on development of methodology of an assessment of level of competitiveness of sea equipment through subjects of managing, which can be the mediated carriers of its property through the goods and services is offered.

Ключевые слова: морская техника, организационно-управленческая модель, конкурентоспособность, фазы состояния предприятия.

Key words: sea equipment, organizationally-administrative model, competitiveness, phases of a condition of the enterprise.

МОРСКАЯ техника (МТ), куда входят как изделия, так и услуги, — всего лишь пассивный компонент рынка, на котором присутствуют также и активные компоненты — субъекты хозяйствования, которые могут быть опосредованными носителями свойства конкурентоспособности (через свои товары и услуги). Каждое промышленное предприятие проходит фазы развития на этапах его жизненного цикла, которые согласно ГОСТ ИС 19439 имеют следующие состояния:

- идентификация домена;
- определение понятия (концепция);
- определение требований;
- проектная спецификация;
- описание внедрения;
- действие домена;
- определение вывода из эксплуатации.

Примечание:

На рис. 1 фазы развития предприятия перечислены и представлены как совокупность данных о предприятии в виде куба на этапах проектирования и реализации в сопоставлении с требуемым уровнем конкурентности.

При такой постановке задачи в терминах системного анализа рыночная конкуренция может быть описана следующим образом. Имеются организационно-управленческая модель производства для создания и технического обслуживания МТ, включающая в себя ряд функционально однородных объектов, систем, и окружающая эти объекты среда, роль которой сводится применительно к данной проблеме — формированию требований к результатам функционирования указанных объектов — систем [1]. Конфигурация обеспечения модели процессов управления послепродажного обслуживания МТ представляется по следующим видам обеспечения:

- функциональное обеспечение;
- ресурсное обеспечение;
- информационное обеспечение;
- организационно-управленческое обеспечение.

Механизм формирования и управления требованиями в процессах проектирования предприятия априори заказчиком не известен или выбран по аналогу, а сами требования предъявляются к компонентам МТ в слабоформализованном виде и с высокой степенью неопределенности [2]. Как требования среды, так и результаты функционирования объектов МТ могут быть представлены в виде некоторого множества показателей, имеющих в общем случае различный экономический и технический смысл. Целью каждой системы МТ является достижение максимально возможного соответствия результатов функционирования системы МТ предъявляемым требованиям со стороны заказчика в предполагаемой среде создания и ее применения. Множество объектов, в них входящих, может быть упорядочено на основе критерия минимума несоответствия между результатами функционирования и требованиями. Исходя из эмпирических соображений, можно назвать конкурентоспособными любые Q -объекты из упорядоченного множества с номерами от 1 до q , где q — это максимально допустимое в рассматриваемой ситуации количество объектов, которые принимаются в качестве конкурентоспособных. При этом наиболее конкурентоспособным будет, естественно, считаться мажоранта упорядоченного множества. Очевидно, данную проблему можно описать

$$P = \langle Q, I, D, \text{Con}, O, R \rangle, \quad (1)$$

где Q — множество объектов, представленных на рынке;
 I — множество типов (параметров) объектов;
 D — множество требований потребителей;
 Con — состояние системы, заданной на множестве объектов потребителями во времени или пространстве ($Con_1, Con_2, \dots, Con_m$), где m — этапы состояния системы полного жизненного цикла;
 O — регламент, заданный на множестве объектов Q типа I , находящихся в состоянии Con_i , лицом, принимающим решение в виде главного конструктора или главного специалиста, при переводе указанного множества в состояние Con_{i+1} ;
 R — привлекаемые ресурсы.

Очевидно также, что все множества, представленные в выражении (1), включают в себя элементы различной физической природы, сравнение которых затруднено методологически. Следовательно, необходимо учитывать, что результат решения проблемы (1) в значительной степени будет субъективным. В общем случае все указанные множества следует относить к классу размытых. Охарактеризуем кратко основные компоненты проблемы.

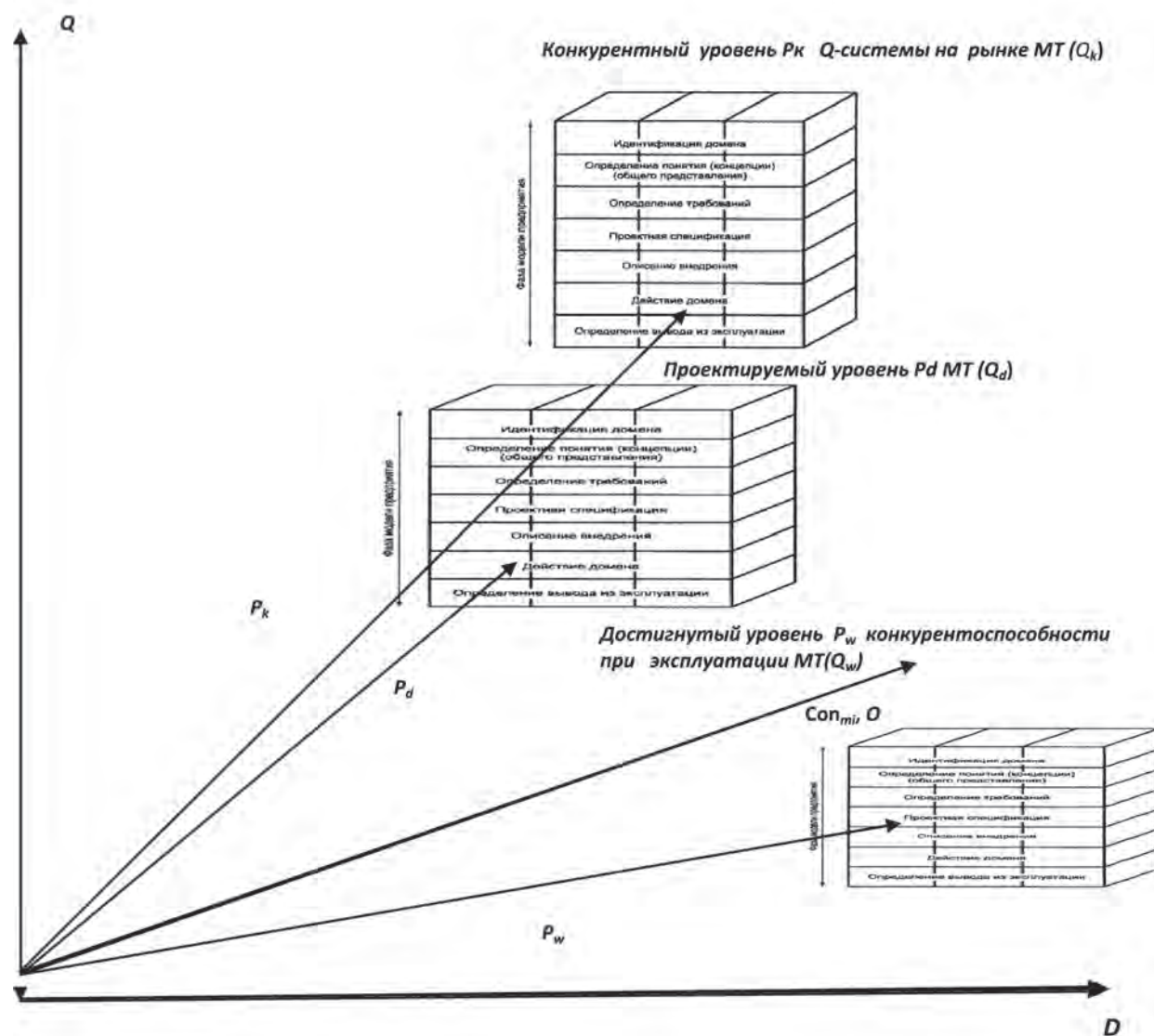


Рис. 1. Принципиальная схема сопоставления уровней состояния производственного комплекса по созданию и техническому обслуживанию морской техники для выявления ее конкурентоспособных преимуществ на этапах ее ЖЦ с отражением фазы состояния предприятия

Множество Q -объектов включает в себя как объекты, реально существующие на рынке, так и те объекты, которые, по мнению главного конструктора, могут на нем появиться в период, учитываемый в анализе. Поскольку часть элементов этого множества относится к конкурирующим, то есть к «противнику» в конкурентном конфликте, информация о них у проектанта МТ ограничена и может быть выражена в вероятностных категориях.

Множество D является слабоструктурированным. Оно принципиально не может быть сформировано детерминированными методиками, поскольку строится на основе выборки. Теоретические основы построения множества D достаточно хорошо разработаны.

Множество Con , как и множество D , является слабоструктурированным. Фактически оно формируется по принципу группового решения, причем в качестве экспертов выступают потребители.

Множество I строится на основе уже упоминавшихся микроэкономических методик. Методические основы формирования множества I в значительной степени относятся к эмпирическим.

Потребители МТ на ее жизненном цикле могут выдвигать любые требования D на множестве Q типам I , однако в силу закономерностей потребительского поведения с течением времени потребительские предпочтения меняются таким образом, что их можно объединить в несколько групп (Q_i) с совпадающими предпочтениями. Таким предпочтением является выбор конструктивно-технологических платформ, например для военно-морской техники. Очевидно, что порядок, заданный потребителями МТ или экспертами на множестве Con , не определяет количественной меры предпочтений между двумя произвольными альтернативами. Однако возможно развитие порядковой шкалы для Con до интервальной по m состояниям. При этом в качестве эмпирической системы, лежащей в основе такой шкалы, может быть принята доля рынка, которая приходится на каждый элемент множества Con на этапах жизненного цикла МТ.

Множество O формируется на основе множества Q в части элементного состава требований dm . Упорядочивание его производится на основе принципа экономической целесообразности и с учетом информации о затратах ресурсов, связанных с каждым элементом множества Q . Формирование множества O производится на основе измерения по интервальной шкале каждого этапа цикла МТ, то есть на порядковой шкале вводится метрика, определяющая расстояние между элементами во времени. Наличие неопределенности информации, имеющейся в распоряжении проектанта МТ относительно элементов множества O и отношений на нем, неизбежно. Однако следует признать, что в распоряжении проектанта МТ имеются гораздо более развитые средства снижения неопределенности на множестве O , чем на других компонентах рассматриваемой модели (1). Задача заключается в том, чтобы на основе имеющегося информационного обеспечения выбрать из множества подмножество R (R, S) такое, чтобы суммарное соответствие от его элементов до элементов множества Con было минимальным и минимальным был бы суммарный ранг этих элементов в упорядоченном множестве O при сравнении конкурентоспособного уровня создания Q_k — объекта МТ, Q_d — спроектированного и Q_w — фактически эксплуатируемого. Принципиальная схема сопоставления уровней состояния судостроительного комплекса по созданию и техническому обслуживанию МТ для выявления ее конкурентоспособных преимуществ на этапах ее ЖЦ представлена на рис. 1.

В плоскости $Q-D$ отражаются d -требования заказчика к объектам МТ и ее q -компонентам

В плоскости $Q-Con, O$ отражается функциональное состояние системы МТ и ее компонентов на этапах жизненного цикла при создании, эксплуатации с учетом выполняемых регламентов по обслуживанию производственным комплексом или службой обеспечения.

В плоскости $D-Con, O$ отражаются требования к технологии проектирования, строительства и эксплуатации МТ и ее компонентов для осуществления регламентов при ее эксплуатации.

Принимая во внимание изложенное выше, понятие конкурентоспособности МТ как вектора состояния МТ P_i может быть сформулировано следующим образом: конкурентоспособность МТ как обобщенная экономическая категория характеризует экономическую ситуацию, включая проектные, производственные, распределительные и потребительские аспекты результатов экономи-

ческой деятельности судостроительного комплекса для достижения требуемой ее функциональности на этапах жизненного цикла во исполнение требований заказчика.

Анализ известных определений конкурентоспособности и наши представления о предмете исследования позволяют выделить целый ряд моментов, безусловно, важных для экспликации данного понятия и определения его места среди других экономических категорий:

— конкурентоспособность продукции судостроения — это мера ее привлекательности для заказчика в обеспечении его основных требований;

— привлекательность МТ определяется степенью удовлетворения совокупности разноплановых, иногда противоречивых требований заказчика;

— состав предъявляемых требований, их приоритетность зависят как от вида продукции, так и типа ее потребителя;

— конкурентоспособность как экономическая категория имеет релятивистскую природу, так как рассматривается относительно конкретного рынка и конкретного аналога;

— конкурентоспособности присущ динамический характер — имеет смысл рассматривать ее лишь применительно к конкретному моменту времени, с учетом изменений во времени рыночной конъюнктуры;

— проблема конкурентоспособности относится лишь к нестационарному недефицитному рынку МТ, который находится в неравновесном состоянии;

— конкурентоспособность МТ зависит от стадии жизненного цикла, на которой она находится.

Резюмируя сказанное, можно предложить следующее определение: *«Конкурентоспособность МТ — это свойство объекта или ее компонент, имеющих определенную долю соответствующего релевантного рынка, которое характеризует степень соответствия технико-функциональных, ресурсных, организационных, информационных и других характеристик объекта требованиям потребителей (заказчиков), а также определяет долю рынка, принадлежащую данному объекту, и препятствует перераспределению этого рынка в пользу других объектов».*

Для того чтобы рассматриваемый вид продукции был пригоден для удовлетворения данной потребности и представлял интерес для заказчика, он также должен обладать комплексом соответствующих параметров. Можно считать идеальным случай, когда совокупности параметров продукта судостроительного производства и параметров потребностей заказчика совпадают. Поэтому для изготовления конкурентоспособной МТ производитель должен стремиться максимально точно прогнозировать потребности потенциального заказчика. При этом в случае наукоемкой продукции, услуг судостроения покупатель обычно несет затраты как при приобретении товара, так и при его эксплуатации. Общую сумму затрат при анализе конкурентоспособности называют «ценой потребления». Конкурентоспособность МТ может быть установлена лишь в результате ее продажи, то есть в сфере обращения.

Наконец, конкурентоспособность — это важная рыночная категория, отражающая одно из важнейших свойств рынка — его конкурентоспособность. При неизменных качественных характеристиках изделия его конкурентоспособность может изменяться в достаточно широких пределах, реагируя на различные факторы, определяемые конкурентной средой предприятия. Таким образом, представляется, что проблема конкурентоспособности является комплексной, лежащей на стыке трех научных дисциплин:

— технической дисциплины — квалитметрии;

— экономической дисциплины — маркетинга;

— организационно-управленческой дисциплины — менеджмента.

Соответственно проблема анализа и оценки конкурентоспособности МТ должна решаться на основе согласованного применения теоретического и прикладного аппарата, созданного в рамках этих двух научных направлений. Разработка методологии управления проектами конкурентоспособного облика судостроительного комплекса для производства МТ, отвечающей все возрастающим требованиям заказчика на среднесрочную перспективу, требует дальнейших ис-

следований. Они должны обеспечивать основную функциональность управления судостроительным комплексом по следующим направлениям управления: конфигурацией МТ и ее компонентов, сроками выполнения этапных работ, бюджетом, рисками, поставщиками, коммуникациями, уровнем компетенции персонала.

Список литературы

1. Терехов С. А. Нейросетевые информационные модели сложных инженерных систем / С. А. Терехов // Горбань А. Н., Лунин-Барковский В. Л. [и др.]. Нейроинформатика. — Новосибирск: Наука, Сиб. предприятие ТАН, 1998. — 296 с.
2. Захаров И. Г. Концептуальный анализ в военном кораблестроении / И. Г. Захаров. — СПб.: Судостроение, 2001.

УДК 339.5:656.6

А. Н. Буянова,
д-р экон. наук, профессор,
ЗАО «ЦНИИМФ»;

О. А. Казьмина,
канд. экон. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВСТУПЛЕНИЯ РОССИИ ВО ВСЕМИРНУЮ ТОРГОВУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ НА РАЗВИТИЕ МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

ASSESSMENT OF INFLUENCE OF THE ENTRY OF RUSSIA IN THE WORLD TRADE ORGANIZATION ON DEVELOPMENT OF SEA TRANSPORT

Деятельность морского транспорта в большей степени осуществляется в секторе международной торговли, поэтому вступление России во Всемирную торговую организацию (ВТО), несомненно, повлияет на его дальнейшее развитие. Специалистами ЗАО «ЦНИИМФ» выполнена работа по оценке перспектив развития отрасли после подписания Российской Федерацией Соглашения о присоединении к ВТО, по результатам которой подготовлена данная статья.

The assessment of influence of the entry of Russia in the World Activity of sea transport is more carried out in sector of international trade therefore the entry of Russia into the World Trade Organization, undoubtedly, will influence its further development. Specialists of ZAO «CNIIMF» performed work on an assessment of prospects of development of branch after signing by the Russian Federation of the Agreement on joining to the WTO by results of which this article is prepared.

Ключевые слова: морской транспорт, Всемирная торговая организация.
Key words: sea transport, World Trade Organization.

ВСЕМИРНАЯ торговая организация была создана в 1994 г. с целью либерализации международной торговли и регулирования торгово-политических отношений государств — членов организации. ВТО является преемницей Генерального соглашения по тарифам и торговле (ГАТТ), заключенного в 1947 г. и выполнявшего свои функции на протяжении почти

50 лет. Основная цель ВТО — снижение барьеров в международной торговле и организация ее деятельности в соответствии с принятыми международными правилами. Во Всемирной торговой организации состоят 80 % всех стран мира. С учетом России на их долю приходится 97 % мирового торгового оборота [1].

Процесс переговоров о вступлении России в ВТО начался еще в 1993 г. с официальной заявки страны о присоединении к ГАТТ. Но только 16 декабря 2011 г. на VIII Министерской конференции ВТО был одобрен пакет документов по присоединению России к ВТО.

22 августа 2012 г. вступил в силу Протокол от 16 декабря 2011 г. «О присоединении Российской Федерации к Марракешскому соглашению об учреждении Всемирной торговой организации от 15 апреля 1994 г.» (далее — Протокол). Данный Протокол ратифицирован Федеральным законом «О ратификации Протокола о присоединении Российской Федерации к Марракешскому соглашению об учреждении Всемирной торговой организации от 15 апреля 1994 г.» № 126-ФЗ от 21 июля 2012 г.

В процессе подготовки к вступлению в ВТО была проведена большая работа по приведению российского законодательства в соответствие с нормами ВТО. Среди наиболее значимых для морского транспорта документов можно отметить следующие:

— в 2004 г. принят новый Федеральный закон «Об основах регулирования внешнеторговой деятельности», положения которого были гармонизированы с правовым полем ВТО;

— внесены существенные изменения в Федеральный закон «О валютном регулировании и валютном контроле»;

— принят Федеральный закон «О специальных защитных, антидемпинговых и компенсационных мерах при импорте товаров», отвечающий правилам ВТО по специальным защитным, компенсационным мерам и субсидиям;

— в связи с образованием Таможенного союза в 2009 г. был принят Таможенный кодекс Таможенного союза;

в период с 2005 по 2008 г. были внесены изменения в Закон РФ «О таможенном тарифе», касающиеся унификации тарифов по товарной номенклатуре группам стран-импортеров, был сокращен перечень товаров, к которым применяются квоты на импорт продукции. В 2009 г. был принят закон «О едином таможенном тарифе Таможенного союза».

После подписания Соглашения о присоединении к ВТО Россия приняла на себя ряд обязательств по дальнейшей либерализации правил международной торговли и ускорению интеграции в мировую экономику. К наиболее значимым можно отнести следующие [2].

1. Снижение ставок ввозных и вывозных таможенных пошлин.

В табл. 1 приведены данные о снижении пошлин. Эти значения закреплены в разделе «Прогноз доходов федерального бюджета на 2013–2015 годы» документа «Основные направления бюджетной политики на 2013 год и на плановый период 2014 и 2015 годов».

Таблица 1

Изменение доходной базы федерального бюджета в связи с предложениями по изменению законодательства Российской Федерации (млрд руб.)

Наименование изменения	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Снижение средневзвешенных ставок ввозных таможенных пошлин в связи со вступлением Российской Федерации во Всемирную торговую организацию (в 2013 г. с 9,33 до 7,24 %, в 2014 г. с 9,15 до 6,65 %, с 2015 г. с 9,15 до 5,94 % в соответствии с основными направлениями таможенно-тарифной политики на 2013–2015 гг.), %	–187,8	–256,8	–365,9
Снижение средних ставок вывозных таможенных пошлин на прочие экспортные товары в связи со вступлением Российской Федерации во Всемирную торговую организацию, %	–21,8	–33,5	–47,3
Снижение фиксированной ставки таможенных сборов за таможенные операции при вывозе товаров, %	–9,3	–10,0	–10,9

Источник: материалы ЗАО «ЦНИИМФ».

Снижение ставок ввозных таможенных пошлин коснется всех отраслей экономики, кроме добычи топливно-энергетического природного сырья, где конкуренция с импортом России не грозит.

2. Снятие административных барьеров на допуск иностранных компаний к отечественным рынкам.

Данное положение означает, что количественные ограничения на импорт (квоты, запреты, разрешения, предварительные санкции, лицензирование и т. п.), которые не подтверждены правилами ВТО и не проводятся под ее провизией, должны быть исключены без возможности повторного введения. Кроме этого, Россия принимает на себя обязательства по облегчению допуска иностранных компаний на рынок по 116 из 155 секторов услуг.

3. Обязательства по реформированию законодательства и системы государственного управления.

Российское законодательство за период переговоров по ВТО постепенно приводилось в соответствие нормам Организации. Тем не менее некоторые обязательства еще неполностью выполнены, в частности в сфере реформирования системы государственных закупок, транспарентности (прозрачности) нормативно-правовых актов, ответственности за дискриминацию иностранных фирм и т. д.

К преимуществам, полученным в целом Россией после вступления в ВТО, можно отнести следующие [3, с. 59–69]:

— Россия получает легитимный выход на международное торговое пространство, на территории которого деятельность регулируется нормами ВТО. К таким нормам относятся: фиксация в отношении РФ режима наибольшего благоприятствования и национального режима, защита российских товаров от дискриминационных внутренних налогов и таможенных сборов, свобода транзита, гарантии против произвольного использования других торгово-политических средств;

— Россия может использовать механизм разрешения споров и конфликтных ситуаций, регламентированный правовой базой ВТО;

— Россия, как член ВТО, участвуя в новых переговорах по развитию правовых основ международной торговли, сможет защищать свои национальные интересы в сфере международной торговли;

— для российских инвесторов расширяются возможности деятельности в странах — членах ВТО, в частности в банковской сфере;

создание благоприятного инвестиционного климата для иностранных предпринимателей в результате приведения российской законодательной системы в соответствие с нормами ВТО.

Тем не менее многие специалисты отмечают и ряд неблагоприятных последствий [2; 4]:

— ставки таможенных пошлин снизились в первую очередь по дорогим товарам и практически не изменились для большинства товаров первой необходимости, что не улучшает социальную обстановку в стране;

— морской транспорт пользуется продукцией тяжелого машиностроения, а именно подъемно-транспортным оборудованием. Доля импорта в составе подъемно-транспортного оборудования составляет 50 %. Запланированное снижение ставок ввозных таможенных пошлин к 2015 г. до 5–10 % в зависимости от типа продукции как мера для защиты отечественной продукции от демпинга и создания благоприятных условий для ускоренной модернизации мощностей не позволит провести модернизацию отрасли;

— сохраняется запрет на деятельность в России филиалов иностранных банков (это результат работы Рабочей группы), поэтому в условиях отсутствия конкуренции с иностранными банками не стоит ожидать снижения стоимости «длинных» кредитов;

— Россия будет ограничена в применении инструментов государственного регулирования экономических обменов и субсидий. Кроме того, возможности защиты внутреннего рынка товаров и услуг от иностранной конкуренции будут ограничены четырьмя инструментами, такими как экспортный тариф, антидемпинговые, защитные и компенсационные тарифы.

По мнению автора исследования [5, с. 9–15], выиграют от вступления в ВТО такие отрасли, как цветная и черная металлургия, химическая промышленность, связь, финансовый сектор за счет удешевления реального обменного курса и расширения рынка. Наибольшие неблагоприятные последствия почувствуют пищевая и легкая промышленность, машиностроение, компании по производству стройматериалов за счет существенного снижения тарифов при низкой доле экспорта.

Отмеченные выше преимущества и неблагоприятные последствия вступления России в ВТО являются общими для отраслей экономики страны. Применительно к объекту данного исследования рассмотрим более подробно транспортную отрасль.

Анализируя транспортное законодательство РФ и сопоставляя его с нормами ВТО, следует отметить, что в нем содержатся положения, ограничивающие деятельность иностранных транспортных компаний, а также несовместимые с понятием «режим наибольшего благоприятствования»:

- наличие квот на осуществление международных автомобильных перевозок (грузовых и пассажирских): такие ограничения позволяют контролировать количество международных перевозок, осуществляемых третьими странами. На заседании министров транспорта европейских стран (Лейпциг, 23 мая 2013 г.) было решено оставить объем существующих льгот на прежнем уровне — 150 тыс. поездок в год [6];

- наличие квот и «назначенных перевозчиков» в авиационном секторе (назначенный перевозчик — это авиакомпания, определенная авиационными властями для полетов по определенному маршруту за рубеж, перечень назначенных перевозчиков определяется межправительственными соглашениями);

- наличие льготных тарифов на перевозку внутренних российских грузов и внешнеторговых грузов, следующих через российские порты, по сравнению с тарифами на перевозку аналогичных грузов, следующих через сухопутные погранпереходы (противоречие со ст. III ГАТТ о национальном режиме внутреннего налогообложения и регулирования); российская сторона в ходе переговоров пообещала, что полная унификация этих тарифов, начатая в 2001 г., будет завершена к 1 июля 2013 г.;

- наличие льгот на приобретение транспортных средств (например, субсидии на погашение процентных ставок по кредитам на строительство морских и речных судов);

- запрет (за исключением отдельных случаев) на доступ иностранных перевозчиков к внутренним водным путям.

В ходе двусторонних переговоров по присоединению России к ВТО были разработаны и приняты специфические обязательства по доступу на российский рынок транспортных услуг.

Был проанализирован «Перечень специфических обязательств Российской Федерации по услугам» [7] (далее по тексту — Перечень) с целью выявления принятых обязательств на развитие морского транспорта.

В ВТО применяется стандартная форма Перечня с единой терминологией, установлен единый для всех членов ВТО порядок его заполнения.

В Перечне определены:

- правила, ограничения и условия по доступу иностранных услуг и поставщиков услуг на внутренний рынок страны — члена ВТО (ограничения по доступу на рынок, или Limitation on market access);

- условия и ограничения по предоставлению национального режима (ограничения по предоставлению национального режима, или Limitation on national treatment). Национальный режим предоставляется иностранным услугам и поставщикам услуг только в тех секторах, которые включены в национальный перечень специфических обязательств, и на условиях, содержащихся в перечне;

- действия, связанные с дополнительными обязательствами (дополнительные обязательства, или Additional commitments);

- сроки выполнения обязательств и дата вступления таких обязательств в силу.

В ГАТС зафиксированы четыре способа поставки услуг:

- с территории одной страны — члена ВТО на территорию любой другой страны — члена ВТО (трансграничная поставка);

— на территорию одной страны — члена ВТО потребителю услуги из любой другой страны — члена ВТО (потребление за границей);

— посредством коммерческого присутствия поставщика услуг одной страны — члена ВТО на территории любой другой страны — члена ВТО (коммерческое присутствие);

— путем перемещения поставщиком услуг из одной страны — члена ВТО физических лиц этой же страны в другую страну — член ВТО для оказания там услуг (присутствие физических лиц).

Россия принимает на себя специфические обязательства по отдельным секторам и видам услуг в отношении каждого из указанных выше четырех способов поставки услуг.

Перечень специфических обязательств состоит из двух разделов.

Раздел I: горизонтальные обязательства, которые содержат ограничения, подлежащие применению ко всем или к нескольким секторам услуг, включенным в Перечень. Эти ограничения могут относиться ко всем способам поставки услуг, но чаще всего к «коммерческому присутствию» и «присутствию физических лиц».

Так, Российская Федерация отменит все программы промышленного субсидирования или изменит их таким образом, чтобы выданные субсидии не были ограничены условиями экспортирования или нацелены на домашнее использование поверх импортированных товаров. Российская Федерация уведомит ВТО о субсидиях и не будет ссылаться на нормы ст. 27 и 28 Соглашения ВТО о субсидиях и компенсационных мерах [7]. Иными словами, ВТО не запрещает предоставление всех субсидий. Например, нельзя предоставить субсидию, цель которой — замещение импорта, однако можно субсидировать промышленность в других формах, не противоречащих правилам ВТО.

Раздел II: специфические обязательства, относящиеся к определенному сектору, подсектору или виду деятельности. В этом разделе указываются ограничения по доступу на рынок и ограничения по предоставлению национального режима для каждого способа поставки услуг, а также дополнительные обязательства.

В разделе II (сектор 11 «Транспортные услуги», подсектор А «Морской транспорт») в графе «Дополнительные обязательства» перечислены услуги, которые гарантирует РФ поставщикам услуг международных морских перевозок на разумных и недискриминационных условиях:

— лоцманская проводка (для судов под российским флагом пользование услугами лоцманской проводки может быть необязательным);

— ледокольная проводка;

— буксировка;

— снабжение продовольствием, топливом и водой;

— сбор мусора и льяльных вод;

— услуги капитана порта;

— навигационная поддержка (услуги маяков, навигационные услуги, услуги судов с радарными установками, иные электронные вспомогательные средства и системы, повышающие безопасность навигации, и т. д.);

— услуги, оказываемые с берега, существенные для эксплуатации судов, включая коммуникационные, поставку воды и электричества;

— аварийные ремонтные средства;

— услуги якорных стоянок и причалов.

В подсекторе «Международные перевозки» в графе «Ограничения доступа на рынок» указаны допустимые ограничения по доступу на российский транспортный рынок для каждого способа поставки услуг:

— по линейным перевозкам: преимущественное право на участие в работах по соглашению о разделе продукции в качестве перевозчиков принадлежит юридическим лицам Российской Федерации;

— по балкерным, трамповым и другим международным перевозкам, включая пассажирские перевозки: преимущественное право на участие в работах по соглашению о разделе продукции в качестве перевозчиков принадлежит юридическим лицам Российской Федерации;

— учреждение зарегистрированной компании для целей эксплуатации флота под национальным флагом Российской Федерации: обязательства по этому пункту РФ не принимаются;

— для оказания услуг вспомогательного характера (обработка грузов, таможенные брокеры, агентирование и т. п.) коммерческое присутствие допускается только в виде юридического лица Российской Федерации (на тех же условиях, что и российским поставщикам услуг).

При этом особо отмечается, что подсектор «Международные перевозки» не включает «морские каботажные услуги», которые рассматриваются как охватывающие перевозку пассажиров или грузов между портами, расположенными в Российской Федерации, и перевозку пассажиров и грузов между портом, расположенным в Российской Федерации, и сооружениями или конструкциями, расположенными на континентальном шельфе Российской Федерации, а также перевозку пассажиров и грузов во внутренних водах РФ.

В секторе Е «Услуги по аренде/лизингу без оператора» в графе «Ограничения доступа на рынок» для третьего способа поставки транспортных услуг указано:

— коммерческое присутствие разрешается только в форме юридического лица Российской Федерации;

— права плавания под Государственным флагом Российской Федерации предоставляются только судам, принадлежащим: гражданам Российской Федерации; юридическим лицам Российской Федерации; субъектам Российской Федерации; муниципальным органам власти.

В ходе переговоров по вступлению России в ВТО были согласованы изъятия из распространения принципа национального режима на лиц из других стран — участников ВТО в ходе их деятельности в указанных сферах (изъятия из ст. II Генерального соглашения по торговле услугами (ГАТС) «Режим наибольшего благоприятствования (РНБ)»).

Данная статья гласит: «В отношении особой меры, охватываемой ГАТС, каждый член ВТО должен представить немедленно и безусловно для услуг и поставщиков услуг любого другого члена ВТО режим не менее благоприятный, чем тот, который он предоставляет для тех же услуг или поставщиков услуг любой другой страны». Однако согласно § 2 этой статьи любой член ВТО может продолжать использовать ограничительную меру, не согласующуюся с РНБ, при условии, что эта мера внесена в национальный список изъятий.

Согласованный список изъятий в части услуг морского транспорта приведен в табл. 2.

Таблица 2

Список изъятий из ст. II ГАТС в части услуг морского транспорта

Описание меры, несовместимой со ст. II ГАТС	Страна или страны, в отношении которых применяется мера	Предполагаемый срок действия	Основание, обуславливающее необходимость изъятия из РНБ
В случаях и в соответствии с процедурой, установленной Правительством РФ, каботажная перевозка и каботажная буксировка могут осуществляться иностранными судами	Все страны	Не определен	Мера отражает существующую практику ad hoc регулирования указанных вопросов на основе разовых решений и конкретной ситуации
Меры в отношении доступа судов под польским флагом в российскую часть Калининградского залива и Балтийского морского канала	Польша	Не определен	Обеспечение обязательств по международному соглашению и сохранение традиционных отношений в области морского транспорта
Специальный режим плавания в Каспийском море	Азербайджан, Иран, Казахстан, Туркменистан	Не определен	Развитие региональной кооперации

Таблица 2
(Окончание)

Меры, разрешающие двусторонние соглашения в отношении деления и резервирования грузов	Алжир, Бразилия, Гана, Малайзия, Мексика, Пакистан, Сирия, Тунис, Шри-Ланка, Эфиопия	Не определен	Существующие соответствующие соглашения
Меры в отношении операторов морского транспорта, такие как приоритетные права по Соглашениям о разделе продукции и в отношении деятельности морских транспортных агентств	Стороны Соглашения о партнерстве и сотрудничестве между Российской Федерацией и европейскими сообществами и их странами-членами, подписанного 24 июня 1994 г., с последующими дополнениями	Не определен	Обеспечение выполнения обязательств по международным соглашениям
Меры в отношении операторов морского транспорта, такие как приоритетные права по Соглашению о разделе продукции	Норвегия	Не определен	Обеспечение выполнения обязательств по международным соглашениям

Источник: материалы ЗАО «ЦНИИМФ».

Таким образом, принципиальных изменений в системе регулирования отношений в сфере морских транспортных услуг не ожидается. Это связано еще и с тем, что к настоящему времени сформирована правовая основа в сфере морского судоходства, предоставляющая равные права для судов под иностранным и национальным флагом без каких-либо преференций.

Список литературы

1. Вторична для России? Вступление России в ВТО: аналит. обзор. // Ernst&Young, Российская экономическая школа. — М., 2012. — 92 с.
2. Оценка макроэкономических последствий вступления России в ВТО — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: http://profzakupki.ru/main/GD_WTO_effect.pdf
3. Оболенский В. Россия в ВТО: обязательства, возможности, риски / В. Оболенский // Мировая экономика и международные отношения. — 2012. — № 6.
4. Кудрин А. Плюсы и минусы вступления в ВТО / А. Кудрин — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: http://www.ruseconomy.ru/nomer2_200104/ec02.html
5. Хусаинов Ф. И. Вступление России в ВТО и железнодорожный транспорт / Ф. И. Хусаинов // Бюл. транспортной информации. — 2012. — № 9 (207).
6. Российские перевозчики борются за квоту — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.transportir.ru/industry-news/rossijskie-perevozchiki-borjutsja-za-kvoty.html>
7. Доклад Рабочей группы по присоединению Российской Федерации ко Всемирной торговой организации (16–17 ноября 2011 г., рус. версия) — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.minpromtorg.gov.ru/ministry/wto/0>

ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ РОСТА КОМПАНИЯМИ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА РОССИИ

PROBLEMS OF GROWTH STRATEGY IMPLEMENTATION BY RUSSIAN WATERWAY TRANSPORT COMPANIES

Важная роль в реализации инновационного сценария социально-экономического развития России и ускорения темпов макроэкономического роста отводится транспортному комплексу страны. Вместе с тем наблюдается несоответствие пропускной и провозной способности отечественного транспорта, в частности морского и речного, текущим и перспективным потребностям экономики. В настоящей статье рассмотрен комплекс актуальных проблем форсированного роста российских компаний водного транспорта — ключевого звена национальной транспортной системы.

Transport plays an important role in the implementation of the innovation scenario of Russia socio-economic development and the acceleration of the national macroeconomic growth. However, there is a mismatch between the throughput and capacity of the domestic transport sector, including maritime and inland, and current and future needs of the economy. This article describes a complex of actual accelerated growth problems of Russian waterway transport companies — the key component of the national transport system.

Ключевые слова: водный транспорт, инструменты стратегического менеджмента, проблемы реализации стратегии, стратегия роста, транспортная компания.

Key words: growth strategy, problems of strategy implementation, tools of strategic management, transport company, waterway transport.

НАБЛЮДАЕМОЕ за последнее время замедление роста мировой экономики содержит признаки стагнации и риски возникновения рецессии. По данным Global Insight, динамика глобального ВВП снизилась с 3,0 % в 2011 г. до 2,6 % в 2012 г., промышленное производство — с 3,8 до 1,9 %¹ соответственно. В новом докладе МВФ понизил июльский прогноз темпов мирового роста на 2013 г. до 3,1 %². Экономические проблемы в мире в значительной степени негативно повлияли на макроэкономическую ситуацию в России. Так, согласно данным Росстата, если в период восстановления национальной экономики после мирового финансово-экономического кризиса 2008–2009 гг. средние темпы роста ВВП в 2010–2011 гг. были на уровне 104,4 %, то уже начиная с 1-го квартала 2012 г. наблюдается перманентное снижение этого показателя 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.³ Прогноз ВВП на 2013 г., по оценкам Минэкономразвития РФ, понижен сначала с 3,6 до 2,4 %, а впоследствии — до 1,8 %⁴. За период январь–май 2013 г. падение темпов роста ВВП России составило 2,7 процентных пункта по сравнению с аналогичным периодом прошлого года⁵. Кроме того, замедление роста в России отражает более значительное, чем ожидалось, снижение индекса промышленного производства с 104,7 % в 2011 г. до 102,6 % в 2012 г. и его стагнацию в 1-м квартале 2013 г.⁶ Основными причинами сложившейся несбалансированной и неустойчивой ситуации в на-

¹ Итоги и тенденции мировой экономики. URL: http://www.budgetrf.ru/Publications/mert_new/2013/MERT_NEW201301211811/MERT_NEW201301211811_p_010.htm

² Перспективы развития мировой экономики / ВМФ: Бюл. прогнозов за июль 2013 г. URL: <http://www.imf.org/external/Russian/pubs/ft/survey/so/2013/NEW070913AR.htm>

³ Росстат. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b13_02/Main.htm

⁴ <http://quote.rbc.ru/topnews/2013/04/15/33927375.html>; <http://lenta.ru/news/2013/08/26/gdp/>

⁵ ИТАР-ТАСС. URL: <http://spb.itar-tass.com/c16/809372.html>

⁶ Росстат. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b13_02/Main.htm

циональной экономике, по мнению многих экспертов, являются, как и прежде, доминирование экспортно-сырьевой модели социально-экономического развития и резкое сокращение инвестиций в основной капитал, темпы роста которых понизились с 110,8 % в 2011 г. до 106,6 % в 2012 г. и до 100,1 % в 1-м квартале 2013 г.¹ Вопрос стимулирования экономического подъема сегодня настолько актуален во всем мире, что составил основу повестки дня прошедших в 2013 г. в Санкт-Петербурге саммита «Большой двадцатки» (G20) и петербургского Международного экономического форума.

По общему признанию международных экспертов в современных условиях рисков глобального экономического спада усиливается роль инфраструктурных отраслей экономики, в том числе транспорта как ключевого драйвера роста мировой и национальных экономик, который определяет вектор направления роста. Кроме того, значение опережающего развития транспорта России возрастает в связи с общей задачей диверсификации отечественной экономики и ее вывода на инновационную траекторию развития, обеспечивающую, по оценкам специалистов Минэкономразвития РФ, максимальные темпы социально-экономического развития страны² с целью повышения ее эффективности и конкурентоспособности в мировом экономическом пространстве на фоне происходящих процессов глобализации, возрастания динамизма деловой среды и темпов научно-технического прогресса, повышения уровня неопределенности экзогенной среды и усиления конкуренции.

Вместе с тем современное состояние национальной транспортной системы ограничивает степень реализации транспортно-транзитного потенциала Российской Федерации, сдерживает темпы ее социально-экономического развития, несмотря на ежегодный прирост инвестиций в основной капитал на транспорте за период с 2000 по 2011 г., в среднем на 33,6 %³. Так, среднегодовые темпы прироста реального валового внутреннего продукта, объема промышленного производства и экспорта в рассматриваемом периоде превышают темп прироста грузооборота транспорта в 7,7, 1,5 и 6,7¹ раз соответственно. Кроме того, если по макроэкономическим индикаторам роста Россия в настоящее время опережает многие страны мира, то по показателям транспортной работы (скорости доставки грузов, стоимости перевозок, качеству транспортно-экспедиционных услуг) значительно уступает свои позиции международным конкурентам. В результате, вклад Российской Федерации в мировой экспорт и импорт транспортных услуг не превышает 2 %⁴, несмотря на уникальное географическое положение; доля отечественных транспортных компаний на мировом рынке грузовых перевозок понизилась с 22,6 % в 2000 г. до 21,8 % в 2010 г.⁵; удельный вес транспортных затрат в себестоимости российских товаров составляет 15–20 %⁶, в то время как в странах с развитой рыночной экономикой этот показатель не превышает 7–8 %⁴, что снижает конкурентоспособность российских товаров и перевозчиков на внутреннем и мировом рынках.

Следует отметить, этой проблеме на государственном уровне уделяется приоритетное внимание. Разработана и реализуется Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г. Только за период 2008–2011 гг. на развитие транспортной системы России из государственного бюджета было выделено около 1,6 трлн руб.⁷ Общий объем инвестиций на транспорте в 2011 г. составил 2,0 трлн руб.⁸ Вместе с тем процент успешно реализованных инвестиционных проектов и достижения поставленных стратегических целей на макро-, мезо- и микроуровнях управления крайне низкий.

¹ Росстат. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b13_02/Main.htm

² Прогноз социально-экономического развития РФ на период до 2030 г.

³ Росстат. URL: www.gks.ru/bgd/regl/b13_02/Main.htm

⁴ Стимулы роста // Транспорт России. URL: <http://www.transportrussia.ru/transportnaya-politika/stimuly-rosta.html>

⁵ Транспорт и связь в России. 2012: стат. сб. / Росстат. М., 2012. Т. 65. С. 281.

⁶ Центр гравитации России.

⁷ Транспорт и связь в России. 2012. С. 68.

⁸ Транспорт и связь в России. 2012. С. 23.

Обеспечение достижения стратегических целей, установленных в Транспортной стратегии РФ до 2030 г., сопряженное с реализацией крупномасштабных инвестиционных проектов, требует качественных изменений в системе управления транспортными организациями, в первую очередь в подсистеме стратегического менеджмента, создающего основу долговременного устойчивого развития как субъекта микроэкономики, так и национальной макроэкономической системы. Кроме того, значение эффективного стратегического менеджмента в деятельности экономических субъектов существенно возрастает, принимая во внимание сложные условия, в которых функционируют в настоящее время транспортные компании, как общие, характерные в целом для мировой и национальной экономики: глобализация, возрастание динамизма деловой среды и темпов научно-технического прогресса, повышение уровня неопределенности внешней среды и усиление конкуренции, так и специфичные, свойственные для транспортной отрасли: высокий моральный и физический износ основных производственных фондов, медленные темпы обновления подвижного состава и транспортной инфраструктуры, несоответствие провозной способности транспорта потребностям экономики страны, высокая капиталоемкость, низкая рентабельность инвестированного капитала, длительные сроки окупаемости инвестиций, высокие операционные и финансовые риски инвестиционных вложений, недостаток долгосрочных финансовых ресурсов. В этих условиях принятие инвестиционных решений в текущем режиме управления, а не на стратегическом уровне (в рамках утвержденной стратегии) недопустимо, поскольку содержит высокие риски. С этих позиций стратегическое управление транспортными компаниями России позволит повысить их инвестиционную привлекательность, привлечь необходимые источники финансирования реализации инвестиционных проектов и наиболее полно реализовать накопленный инвестиционный потенциал для обеспечения экономического роста и достижения других стратегических целей в соответствии с принятой стратегией развития.

Проведенное исследование вопроса применения стратегического управления российскими судоходными компаниями показало, что практика стратегического управления в большинстве из них не отвечает требованиям эффективного и результативного менеджмента. Изучение автором данного вопроса на частных примерах позволило выявить ряд ключевых проблем, образовавшихся преимущественно в области стратегического управления, которые препятствуют реализации стратегии роста компаний водного транспорта России.

Во-первых, не во всех судоходных компаниях применяется стратегическое управление, несмотря на то что инвестиционные решения имеют долгосрочный характер и в значительной степени определяют текущую и будущую рентабельность инвестированного в бизнес капитала и фундаментальную стоимость компании. В основном стратегический менеджмент используется в крупных и средних компаниях, в малых компаниях, с численностью сотрудников менее 100 человек, долгосрочные планы (стратегия) развития, как правило, не разрабатываются (в лучшем случае их руководство ограничивается утверждением годового бюджета). При этом в наибольшей степени стратегическое управление развито в крупных компаниях, образованных в форме открытых акционерных обществ, обладающих наивысшим финансовым потенциалом и заинтересованных в успешном публичном размещении акций и постоянном росте их стоимости (например, ОАО «Современный коммерческий флот»).

Тот факт, что транспортные компании России недоиспользуют потенциал стратегического управления, в определенной степени связан с тем, что многие из них были образованы в советский период развития плановой экономики (1920–1980-е гг.), жесткой централизации в распределении ресурсов и заказов, отсутствия систем мотивации, способствующих повышению эффективности деятельности и качества оказываемых услуг, обновлению основных производственных фондов, обучению персонала. В переходный период к рыночной экономике (1990-е гг.) приватизация государственных предприятий и настрой новых частных собственников на краткосрочные цели извлечения прибыли из полученных ими активов ограничили формирование и использование инве-

стиционного потенциала компаний. В результате транспорт России использует преимущественно физически и морально устаревший подвижной состав, отсталые технологии управления подвижным составом (например, до сих пор не создана единая специализированная транспортно-логистическая информационная система страны), как следствие, несогласованность действий участников процесса «на стыках», неэффективное использование подвижного состава, низкое качество услуг, не соответствующее ценам на перевозки, неэффективное ценообразование. Все это сдерживает темпы развития экономики и сокращает транспортно-транзитный потенциал России. В связи с этим от транспорта требуется не реактивный, а проактивный подход к управлению развитием в целом и инвестированию в частности.

Отсутствие разработанной стратегии развития компании, адаптированной к возможным изменениям факторов экзогенной и эндогенной среды, приводит к тому, что управленческие решения отдельных структурных подразделений компании имеют разнонаправленный характер и могут приводить к возникновению противоречий и снижению эффективности и результативности деятельности компании в целом.

Во-вторых, отсутствует системное управление реализацией стратегии роста, проявляющееся в сегментарном использовании отдельных элементов этой системы, и механизма реализации стратегии, обеспечивающего трансляцию стратегии на оперативный уровень. В настоящее время российские судоходные компании достаточно широко используют наработанный зарубежными и отечественными учеными и практиками инструментарий стратегического менеджмента: формулируют видение и миссию компании, разрабатывают стратегии и планы развития компании на долгосрочную перспективу, создают сбалансированную систему показателей и систему мотивации персонала на основе ключевых показателей эффективности, выполняют SWOT-анализ деятельности компании. Вместе с тем эти инструменты используются слабосвязанно между собой. Как правило, если система стратегического управления и внедрена, то функционирует не в полном объеме — применяются лишь отдельные ее элементы: например, есть стратегия развития компании, бизнес-план, а показатели бюджета — отличны (то есть система бюджетирования — не стратегически ориентированная) либо бюджет построен на основе данных стратегии, а система мотивации, созданная на базе соответствующих ключевых показателей эффективности (КПЭ), либо не в полной мере коррелирует со стратегическими целями, либо вовсе отсутствует. Разрабатываемая сбалансированная система показателей часто не имеет общей подчиненности главной стратегической цели. При проведении SWOT-анализа многие компании на практике не используют дополнительные возможности исследования взаимосвязей между сильными и слабыми сторонами компании и возможностями и угрозами внешней среды для выявления и усиления конкурентных преимуществ, необходимых для реализации стратегии роста. Менеджмент компаний также не использует в полной мере инструмент привлечения (диверсификации) источников финансирования инвестиций: рынки M&A и IPO в российском транспортном секторе не развиты, а это — дополнительный источник привлечения финансирования реализации крупномасштабных инвестиционных проектов на транспорте.

Кроме того, недостаточное внимание в текущем и стратегическом анализе деятельности транспортной компании уделяется нефинансовым показателям оценки реализации стратегии, не менее важным, а порой основополагающим с точки зрения реализации стратегии по сравнению с финансовыми показателями (оперативная управленческая отчетность традиционно содержит финансовые показатели и не включает анализ отклонений стратегических нефинансовых показателей, например индикаторов технологического процесса: скорости, качества и стоимости оказания транспортной услуги), построению адекватной информационной системы, обеспечивающей процесс принятия управленческих решений, обучению и мотивации сотрудников, построению организационной структуры соответствующей эффективной реализации стратегических целей. Либо планы работы структурных подразделений компании на очередной год не соответствуют

(по содержанию, срокам) утвержденным в рамках стратегии мероприятиям, направленным на ее реализацию. Кроме того, на практике стратегическое управление зачастую подменяется понятием «стратегическое планирование», которое слабо увязано с текущей деятельностью компании (оперативным уровнем управления), или вовсе «бюджетированием». Инструменты реализации собственной стратегии в условиях рыночной экономики существенно отличаются от общепринятой ранее системы планирования, и на практике они до сих пор не стали общепризнанными унифицированными методами работы. В настоящее время большинство российских судоходных компаний методом «проб и ошибок» только подходит к пониманию сущности стратегического менеджмента. Это проблема, свойственная для большинства транспортных компаний, где внедрено «стратегическое управление».

В результате, неполное и невзаимосвязанное использование широкого диапазона инструментария стратегического менеджмента, призванного служить эффективным и результативным средством реализации стратегии роста, приводит к проблеме полноценной реализации утвержденной стратегии развития судоходной компании, что ставит под вопрос целесообразность использования значительных ресурсов, огромного труда, различных методов на этапе разработки стратегии компании.

В-третьих, доминирование в целеполагании ряда отечественных судоходных компаний текущих целей над стратегическими (подмена стратегических целей текущими) вступает в противоречие со стратегическими целями Российской Федерации в области развития водного транспорта. Основная причина сложившейся негативной ситуации в транспортном комплексе страны заключается в разнонаправленных, противоречивых целевых установках субъектов макро- и микроэкономики в России: государства и частного бизнеса. Государство определяет свою миссию в сфере функционирования и развития транспортной системы России как «содействие экономическому росту и повышению благосостояния населения через доступ к безопасным и качественным транспортным услугам и превращение географических особенностей России в ее конкурентное преимущество» и стратегические цели, направленные на ее реализацию, среди них: создание современной транспортной инфраструктуры, обеспечивающей ускорение движения пассажиро- и грузопотоков и высокую транспортную доступность всех регионов страны, снижение транспортных издержек в экономике, повышение конкурентоспособности, безопасности и устойчивости транспортной системы России и реализация ее транзитного потенциала, сопровождение экспорта транспортных услуг передовыми информационными технологиями, улучшение инвестиционного климата и развитие рыночных отношений в транспортном комплексе [5, с. 5]. Реализация этих миссий и стратегических целей находит свое отражение в программных документах — Транспортной стратегии РФ, долгосрочных прогнозах социально-экономического развития страны и ежегодно обеспечивается выделенными на эти цели средствами из бюджета всех уровней. Значительную роль в модернизации национальной транспортной системы, повышении ее эффективности и конкурентоспособности на мировом уровне играют транспортные компании. Судоходные компании — субъекты транспортного рынка, участники перевозочного процесса должны развивать логистику и технологии управления перевозочным процессом с целью сокращения сроков доставки грузов и снижения цен на грузоперевозки, постоянно улучшать качество транспортных услуг, инвестировать в строительство флота, повышая требования к его характеристикам экономичности, экологичности, безопасности. В то же время на уровне отдельной транспортной компании, как правило, преобладают краткосрочные цели в ущерб долгосрочному развитию компании, находящиеся в плоскости оперативного, а не стратегического управления, а именно: получение максимальной прибыли в текущем периоде с целью ее текущего распределения, а не накопления (например, для последующего инвестирования в транспортные объекты)¹. Это приводит не только

¹ Увеличение чистой прибыли — это цель, которая входит в противоречие со стратегией роста, поскольку зачастую в период инвестиционного цикла чистая прибыль организаций, особенно таких капиталоемких, как транспортные, уменьшается. Противоположная стратегическая цель, по мнению автора, которая соответствует стратегии роста, состоит в увеличении стоимости компании.

к недостижению долгосрочных целей стратегии роста субъекта микроэкономики, но и к недостаточным темпам модернизации транспортного комплекса страны, снижению качества и безопасности транспортных услуг, росту цен на перевозки на макроэкономическом уровне, что в целом противоречит стратегическим целям Российской Федерации в области развития транспортной системы России.

Отсутствие во многих судоходных компаниях стратегического управления, увязанного с государственной Транспортной стратегией РФ, создает дополнительные риски ее успешной реализации.

В-четвертых, отсутствие системы мониторинга реализации стратегии на основе необходимых источников информации (это касается как системы управленческого учета и отчетности, так и использования информационных систем) не позволяет оперативно, достоверно и в полной мере отслеживать ход реализации стратегии компании. Несмотря на то что у директоров бывших государственных предприятий и руководителей новых компаний растет понимание важности формирования стратегии развития компании на долгосрочную перспективу, процесс стратегического управления осложняется тем, что многие российские судоходные компании в условиях переходного периода оказались в определенном информационном вакууме: с одной стороны, изобилие неструктурированной внешней и внутренней информации, с другой — отсутствие систематизированных ориентиров для выбора направлений и способов дальнейшего развития.

Принимая во внимание современные тенденции развития мировой транспортной системы, нацеленные на перспективное согласование работы всех участников транспортного процесса на базе единого транспортно-логистического центра и предусматривающие создание единого информационного пространства для обеспечения грузоперевозок, то есть общую базу данных о перевозках, единое нормативно-правовое поле, регламентирующее технологическое взаимодействие всех участников транспортного процесса (единые правила перевозок, единые перевозочные документы, единые правила взаимодействия в транспортных узлах), единую нормативно-справочную информацию, включающую создание баз данных по грузам, грузоотправителям, грузополучателям, грузовладельцам, железным дорогам, морским портам, транспортным узлам, маршрутам транспортировки, операторам транспортного рынка и т. д. [1]; общие подходы к определению задач по разработке автоматизированных, информационно-управляющих и аналитических технологий и других программ, являющихся едиными, унифицированными и типовыми для всего транспортного комплекса, главным конкурентным преимуществом России в борьбе с Западом и Востоком за транспортные грузопотоки, включая транзитные, становится умение автоматизировать перевозочные процессы, что в дальнейшем должно привести к повышению производительности труда. «Если не думаете о том, как применить информационные технологии для реализации стратегии, вы уже проигрываете в конкурентной гонке», — уверен вице-президент и генеральный директор “Hewlett-Packard” в России А. Микоян¹. «Надо думать в оба направления, — советует глава российского представительства НР. — Когда формируете стратегию, задавайтесь вопросом “Успеют ли ИТ за этим?” И в обратную сторону: “Могу ли я с помощью информационных технологий реально повлиять на стратегию?” Эти два вопроса надо задавать себе постоянно»². Вместе с тем, по оценкам экспертов, в России информационные технологии составляют немногим более 1 % от ВВП, что существенно ниже, чем в Германии (более 3 % от ВВП), США (около 4 % от ВВП)³.

Для повышения степени реализации стратегии роста российских судоходных компаний необходим постоянный мониторинг и контроль хода реализации стратегии. Для этого в свою очередь важно правильно выстроить систему управленческой отчетности, которая позволяет оце-

¹ <http://www.e-xecutive.ru/knowledge/announcement/1788497/>

² Там же.

³ Там же.

нивать степень результативности и эффективности достижения стратегических целей и при необходимости корректировать вектор развития компании. В то же время во многих российских транспортных компаниях в настоящее время отсутствует система регулярного мониторинга хода реализации стратегии. Кроме того, не разработана форма отчета о реализации стратегии для целей информирования руководства и принятия на его основе управленческих решений по дальнейшей реализации стратегии. В результате руководители компаний уделяют недостаточно времени вопросам реализации стратегии, что приводит компании к существенным неуправляемым отклонениям от выбранного изначально вектора стратегического развития компании. Также отмечается низкая периодичность актуализации стратегии. Несмотря на то что стратегия — это документ, который разрабатывается на долгосрочный период времени, необходима ее постоянная актуализация на основе данных отчета о реализации стратегии. Как правило, в практике стратегического управления компаний этого (анализа реализации стратегии) нет, все ресурсы затрачиваются исключительно на ее формирование.

В-пятых, наличие ресурсных ограничений при реализации стратегии развития судоходной компании (финансовых, материальных, трудовых и др.) повышает риск негативных последствий для нее в результате неверно принятых управленческих решений. При этом чем выше уровень принимаемого решения, тем больше потенциальные финансовые потери для организации. С тем, чтобы минимизировать вероятность и потери ошибочных решений, в первую очередь необходимо создать стратегический уровень управления.

Кроме того, наблюдается несоответствие бизнес-модели потребностям рынка и неоперативное обновление бизнес-процессов в условиях динамично меняющейся внешней среды. Во-первых, модель транспортного рынка меняется: транспортные компании преобразуются в мультимодальные транспортно-логистические компании — интеграторы транспортного рынка. В современных условиях, в частности, в связи со стремлением развивать услуги доставки «от двери до двери», судоходные компании интегрируются с операторами других видов транспорта: железнодорожного, автомобильного, а также авиационного, таким образом как бы «удлиняя» свои маршруты и наращивая тем самым свои конкурентные преимущества. При этом бизнес-процессы используются, как правило, устаревшие, от прежней модели. Второй аспект: транспортная компания должна быть клиенто-ориентированной для обеспечения реализации стратегии роста. В связи с этим необходимо постоянное обновление существующей модели бизнеса и внесение оперативных изменений в бизнес-процессы компании в условиях динамичного изменения внешней среды: на транспорт необходимо взглянуть как на процесс, звено единой технологической цепочки и цепочки создания добавленной ценности от момента привоза сырья на производство до момента транспортировки готовой продукции до конечного потребителя.

Особо следует отметить проблему неэффективного ценообразования, ее дуальность: с одной стороны, высокая транспортная составляющая является в настоящее время ограничителем реализации стратегии роста, с другой стороны, современные методы ценообразования не учитывают интересы акционера. Соответственно нужны новые подходы к ценообразованию. От транспорта сегодня требуется проактивное развитие в этом направлении.

В дополнение, отечественным судоходным компаниям, как правило, свойственна ригидная организационная структура, которая, во-первых, не способствует быстрой адаптации компании к изменениям экзогенной и эндогенной среды, а во-вторых, не является клиенто-ориентированной, что приводит к снижению конкурентоспособности компании. Кроме того, отсутствует понятное прозрачное распределение функций и ответственности между участниками процесса реализации стратегии, то есть существуют определенные проблемы внутреннего и внешнего взаимодействия с эндогенной и экзогенной средой. Следует отметить, что эта проблема особенно актуальна для транспортных компаний, поскольку именно этот аспект приводит к значительным финансовым

потерям в результате простоев подвижного состава в ожидании погрузки/выгрузки, нарушения сроков доставки, сохранности грузов. Вследствие этого происходит рост транспортных издержек и снижение грузопотоков, включая транзитные.

Важным условием реализации стратегии является соответствие организационной структуры компании ее стратегическим целям. В контексте реализации стратегии роста, выражаемой увеличением продаж, это должна быть клиенто-ориентированная структура, наилучший способ построения которой основан на построении стоимостной цепочки бизнес-процессов. Вместе с тем большинство российских транспортных компаний, в том числе судоходных, в настоящее время используют функциональную организационную структуру, то есть по видам деятельности внутри компании. Существенным недостатком функциональной структуры компании с точки зрения эффективной реализации ее стратегии, по мнению автора, является низкая информированность подразделений и сотрудников о рыночном позиционировании и стратегических целях компании, что приводит к отсутствию ориентации всех подразделений и сотрудников компании на единый конечный результат и тем самым снижает вероятность достижения стратегических целей деятельности. Таким образом, при реализации стратегии роста необходимо обеспечить переход от линейно-функциональной к процессной организационной структуре компании, положив в основу формализованные бизнес-процессы, ориентированные на конечного потребителя транспортных услуг.

Поскольку в реализации стратегии априори задействованы все сотрудники компании и тем самым они участвуют в формировании экономической добавленной стоимости, то должна быть выстроена соответствующая система мотивации на основе ключевых показателей эффективности (KPI). Вместе с тем релевантная система мотивации персонала, которая бы способствовала формированию заинтересованности у сотрудников в реализации стратегии роста, отсутствует. В связи с этим важно выбрать правильный набор KPI (включающий не чистую прибыль или денежный поток, а внутреннюю стоимость компании, поскольку прибыль в период инвестиций может быть снижена или отрицательной, а стоимость компании (это доказано многочисленными расчетами на практике) при инвестиционном сценарии (в случае реализации инвестиционных проектов с положительным NPV на горизонте планирования) — увеличивается) и персонифицировать KPI исходя из распределения в компании полномочий и ответственности между сотрудниками.

В заключение следует отметить недостаточное обучение персонала стратегическому управлению и информирование его о стратегии развития компании. До сих пор во многих отечественных судоходных компаниях уделяется мало внимания формированию стратегического мышления у сотрудников, направленного на реализацию интересов собственника, а значит, и интересов всех других стейкхолдеров. Кроме того, существует достаточно большой разрыв в представлениях о компании, ее развитии у топ-менеджеров, менеджеров среднего звена и рядовых сотрудников, несмотря на то что один из ключевых принципов эффективного стратегического управления — это понимание стратегии (именно понимание, а не просто знание, осведомленность) всеми сотрудниками компании, включая низкоквалифицированный персонал, поскольку вклад в формирование экономической добавленной стоимости компании априори вносят все сотрудники, кроме исключительных (особых) случаев. Кроме того, система целей не доводится до сведения сотрудников (при этом требуется специальное обучение персонала). Как следствие, планы работы подразделений (их основные направления) не соответствуют в полной мере вектору развития компании, более того, часто вступают в противоречие заданным целям.

Результаты исследования вышеизложенных проблем реализации стратегии роста компаний водного транспорта России обобщены в виде причинно-следственной диаграммы Исикавы (рис. 1).

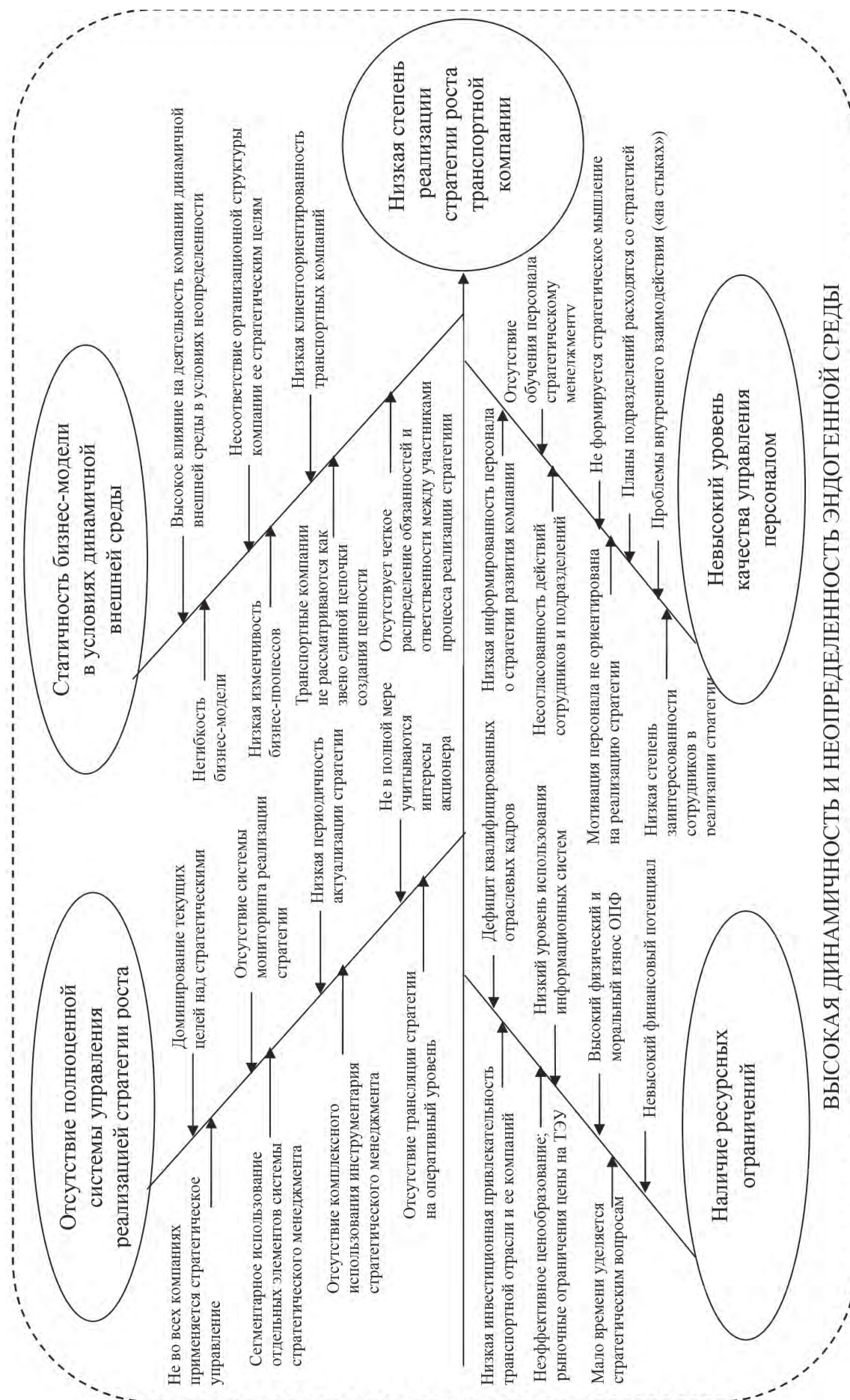


Рис. 1. Структуризация проблемы реализации стратегии роста компаниями водного транспорта России на основе причинно-следственных связей диаграммы Исайявы

Результаты анализа актуальных проблем стратегического управления компаниями водного транспорта России позволили выявить некомплексность и фрагментарность, противоречивость, низкую степень реализации стратегии их развития. На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что предпосылки формирования эффективной системы стратегического управления, направленной на реализацию стратегии роста российских судоходных компаний, созданы. Необходимо создание адекватной системы стратегического управления транспортной компанией на основе экономического механизма реализации стратегии роста, который охватывал бы все ключевые инструменты стратегического менеджмента и был бы интегрирован во все виды ее деятельности, обеспечивая сбалансированное эффективное развитие операционной, инвестиционной и финансовой деятельности для достижения главной стратегической цели — экономического роста. Чтобы транспортная система, объединяющая в себе компании разных форм собственности и видов транспорта, функционировала как единый механизм, необходимо внедрение общих методологических подходов к управлению, основанных на теории стратегического менеджмента, корпоративных финансов, экономической теории, разнообразного методического инструментария зарубежных школ, адаптированных к российским транспортным компаниям с учетом национальной и отраслевой специфики. Такой подход к управлению позволит обеспечить конвергенцию стратегических целей, определенных Транспортной стратегией и Прогнозом долгосрочного социально-экономического развития РФ на макро- и микроэкономическом уровнях управления, функционирование транспортной системы страны как единого механизма и создать на этой основе предпосылки устойчивого долговременного экономического роста России опережающими темпами по сравнению с мировой экономикой.

Список литературы

1. Лукинский В. В. Проблемы оценки эффективности функционирования транспортно-логистических центров / В. В. Лукинский, Ю. В. Малевич // Журнал Университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2012. — Вып. 1. — С. 216–220.
2. Официальный сайт Росстата — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.gks.ru>
3. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года. — М., 2013. — [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: http://www.economy.gov.ru/minrec/activity/sections/macro/prognoz/doc20120428_0010, 49
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. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года: утв. приказом Минтранса Рос. Федерации № 45 от 12 мая 2005 г.
6. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: утв. Распоряжением Правительства Рос. Федерации № 1734-р от 22 ноября 2008 г.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 629.12:519.24

В. Н. Кузнецов,
аспирант кафедры КОИБ,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ СВЯЗНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ОБЪЕКТОВ

SEARCH ALGORITHM OF CONNECTED REGIONS FOR OBJECT DETECTION

В статье рассматривается алгоритм выделения связных областей радиолокационного сигнала и возможное его применение при распознавании объектов.

The article discussed about search algorithm of connected regions in radio signal. The resulting regions may be applied in object detection.

Ключевые слова: AVEVA, внедрение, программный комплекс.
Key words: AVEVA, introduction, application software.

СОВРЕМЕННЫЕ радиолокационные комплексы должны не просто видеть объект, но и уметь определять его тип. Для решения такой задачи в настоящее время активно ведется разработка и совершенствование алгоритмов распознавания обнаруженных объектов. Однако данные, с которыми приходится работать алгоритмам в этой области, имеют свои особенности, которые накладывают отпечаток на реализацию программного обеспечения.

Данные, поступающие в комплекс, имеют вид непрерывного сигнала, работать с которым цифровая техника не умеет. Поэтому предварительно они обрабатываются аналого-цифровым преобразователем, который формирует в памяти матрицу значений с элементами, представленными формулой

$$A_{i,j}, i = 1...n, j = 1...m, \quad (1)$$

где n — количество дискрет по дальности; m — количество дискрет по углу места.

Каждое значение представляет собой амплитуду сигнала отклика по дальности и углу места. Величина отклика может меняться в зависимости от увиденного объекта или шума [1]. Пример такой матрицы приведен на рис. 1. Матрицу значений можно интерпретировать как изображение, если сопоставить величину отклика с градацией серого цвета. При обработке сформированной матрицы ее необходимо предварительно обработать фильтром, чтобы максимально исключить влияние помех.

5	12	4	10	11
4	4	220	2	4
5	210	230	210	3
7	212	211	214	2
10	205	209	213	1
8	12	210	2	10
12	3	10	5	5

Рис. 1. Матрица величины отклика сигнала

Один из вариантов фильтрации — это установление некоторого порогового значения, ниже которого может проявить себя только шум. К примеру, это значение может быть равно половине среднего значения всех элементов матрицы как представлено на формулах:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{i,j}}{n \cdot m}, \quad (2)$$

$$A'_{i,j} = \begin{cases} A_{i,j}, & \text{если } A_{i,j} > a, \\ 0, & \text{если } A_{i,j} \leq a. \end{cases} \quad (3)$$

Для матрицы из приведенного выше примера это значение равно 71. Значит, все, что меньше 71, можно обнулить.

После предварительной подготовки данных необходимо определить, что же все-таки увидел комплекс. Например, если в матрицу попала информация о более чем одном объекте, непосредственное распознавание становится затруднительной задачей. Поэтому предварительно необходимо разделить все объекты и сфокусировать систему на каждом объекте отдельно.

Отдельным объектом будем считать связную область. Таким образом, необходимо предварительно всю картину разделить на отдельные значимые элементы. Следует заметить, что разрешающая способность РЛС по угловым координатам определяется шириной характеристики направленности антенны. Для повышения разрешающей способности необходимо или уменьшить длину волны, или же увеличивать размеры антенной системы. Уменьшать длину волны можно лишь до некоторых пределов, примерно до 2–3 см, так как при дальнейшем уменьшении длины волны возрастают потери энергии при распространении электромагнитных волн в атмосфере. Увеличение размеров антенны также связано с рядом ограничений. Во-первых, антенны не должны превышать по своим габаритам пространства внутри фюзеляжа самолета; во-вторых, антенны не должны влиять на аэродинамические качества летательного аппарата; в-третьих, управление антенной при круговом обзоре должно быть достаточно простым. Ввиду этого разрешающая способность по углу места в реальных условиях сильно ограничена. На практике разница между значениями координат соответствует не менее 5 м на местности. Также и координаты по дальности зависят от длины волны излучателя. При этом при длине волны, обеспечивающей оптимальную дальность сканирования местности, разрешающая способность по дальности также остается невысокой. Учитывая ограничения по минимальному расстоянию между судами, можно утверждать, что граф на основе матрицы откликов РЛС не будет иметь точек сочленения, а также то, что все точки, хоть как то принадлежащие рассматриваемой области, следует относить к исследуемому объекту и они не могут означать части других судов.

Для задачи выделения связных областей целесообразно использовать алгоритм, основанный на принципе обхода графа в ширину [2; 3]. Основная идея алгоритма заключается в том, чтобы представить каждый элемент матрицы, отличный от нуля, как вершину графа, то есть полученная матрица с элементами $A'_{i,j}$ рассматривается как матрица смежности некоторого графа. При этом каждая вершина a_{ij} будет иметь смежные вершины из множества $\{a_{i-1,j}; a_{i+1,j}; a_{i,j-1}; a_{i,j+1}\}$, разумеется, при условии существования соответствующих элементов матрицы. Таким образом, из исходной матрицы откликов получаем набор независимых друг от друга графов, каждый из которых интерпретируется как отдельная связная область, которая подлежит распознаванию. Теперь для получения каждой области необходимо методом перебора по исходной матрице найти не просмотренные вершины, отличные от нуля. В результате работы алгоритма получаем набор множеств вершин, образующих замкнутые области.

Алгоритм выглядит следующим образом. Каждому элементу матрицы ставится в соответствие флаг, обозначающий проход этой точки алгоритмом. Если точка просмотрена, то флаг принимает значение «Истина», в противном случае — «Ложь». Изначально все элементы считаются не просмотренными, то есть значение флага для всех устанавливается «Ложь». Алгоритм в цикле выполняет проход по всем элементам и в случае нахождения не просмотренного значения, от-

личного от нуля, вызывает функцию формирования связной области. Функция формирования связной области добавляет текущее значение в формируемую область и просматривает все смежные значения. Смежными в данном случае считаем все соседние значения матрицы по столбцу и колонке. Для каждого смежного значения, отличного от нуля и имеющего флаг прохода «Ложь», снова рекурсивно вызывается функция формирования области. При каждом шаге получения значения элемента матрицы флаг просмотра устанавливается истинным. Состояние алгоритма на первой итерации будет выглядеть, как изображено на рис. 2. Так, первой значащей ячейкой является ячейка (2; 3) со значением 220. Ячейки, для которых будет рекурсивно вызван алгоритм на следующей итерации, показаны стрелочками.

0	0	0	0	0
0	0	220	0	0
0	210	230	210	0
0	212	211	214	0
0	205	209	213	0
0	0	210	0	0
0	0	0	0	0

Рис. 2. Состояние алгоритма на первой итерации

Таким образом, в результате выполнения алгоритма получается набор связных областей радиолокационного сигнала, представляющий собой множество значений отклика с указанием координат (дальность и угол места). Для представленного примера будет выделена одна область. Она представлена на рис. 3.

0	0	0	0	0
0	0	220	0	0
0	210	230	210	0
0	212	211	214	0
0	205	209	213	0
0	0	210	0	0
0	0	0	0	0

Рис. 3. Выделенная алгоритмом область

Если дополнительно матрицу (3) представить в виде списков смежных вершин, то можно уменьшить время работы алгоритма. Для этого используется трехзначная логика. Каждая вершина может иметь одно из трех значений: 0 (белая), 1 (серая), 2 (черная). Сначала все вершины белые. Серым цветом помечается обнаруженная в списке смежности вершина, которая помещается в очередь. Вершина, у которой все смежные просмотрены и помещены в очередь, помечается черным цветом и удаляется из очереди. Следуя рекомендациям авторов [3; 4], можно оценить временную сложность этого алгоритма. Каждый список смежности обрабатывается один раз при появлении очередной вершины в начале очереди. В нашем случае это количество не превышает учетверенного числа ненулевых элементов матрицы (3). Еще добавляется один просмотр всех вершин, то есть суммарно время обработки $O(k)$, где k — число ненулевых элементов матрицы (3).

Следующим шагом выделения связанных областей является последовательное распознавание каждого образа, выделенного на предыдущем шаге. Для этой цели могут быть использованы разработки в области нейронных сетей, экспертных систем, вероятностных подходов и другие [5, с. 289–295].

Список литературы

1. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов / Р. Лайонс. — М.: Бином-Пресс, 2006. — 655 с.
2. Башмаков А. В. Дискретная математика. Методы кодирования и обработки дискретных структур данных: учеб. пособие / А. В. Башмаков, Е. В. Зуров, А. П. Нырков. — СПб.: СПГУВК, 2012. — 81 с.
3. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. — М.: МЦНМО, 2000. — 960 с.
4. Нырков А. П. Введение в общую теорию алгоритмов: учеб. пособие / А. П. Нырков, А. А. Нырков. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2013. — 43 с.
5. Nyrkov A. P. NP-hard tasks: from the theory to practice / A. P. Nyrkov, S. S. Sokolov // Modern scientific research and their practical application. — 2013. — May. — Vol. J11307.

УДК 625.2

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

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELS FOR CORRECTION OF DISCRETE SIGNALS OF MANAGEMENT BY OBJECT OF ERGATIC SYSTEM

Получены математические модели, достаточные для проведения расчетов на ЭВМ с целью количественного обоснования принятия решений о коррекции дискретных сигналов управления объектом эргатической системы.

Mathematical models sufficient for realization of calculations on COMPUTER with the purpose of quantitative ground of making decision about the correction of discrete signals of management by the object of the ergatic system are got.

Ключевые слова: перегрузочный комплекс, судоходный шлюз, эргатическая система, человек-оператор, управляющая вычислительная машина, устройство связи с объектом, система целей, математическая модель.

Key words: reloading complex, shipping gate, ergatic system, human operator, controlling computing machine, the device with the object, a system of objectives, mathematical model.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ управления работой сложных динамических объектов транспортной отрасли — перегрузочных комплексов, судоходных шлюзов, судов технического флота и др. — во многом зависит от распределения функций управления между человеком-оператором и автоматическими устройствами управления. Применение электронной вычислительной техники, управляющих вычислительных машин дает возможность наиболее полно согласовать преимущественные особенности человека и техники в эргатической (человеко-машинной) системе.

Вполне обосновано использование ЭВМ для быстрой обработки больших массивов информации, моделирования поведения управляемого объекта с целью прогнозирования последствий управляющих воздействий на объект, установления диалогового взаимодействия человека-оператора с ЭВМ в эргатической системе. Для достижения такой цели необходимо располагать математическим описанием процессов в системе, удобным для построения содержательной информационной модели процессов, представляемой человеку-оператору для принятия управленческих решений, и одновременно пригодным для использования при построении алгоритмов автоматического управления объектом. Этому посвящена настоящая статья. Представленный в ней материал является обобщением результатов теоретических и экспериментальных исследований, проведенных на основе системы управления перегрузочными комплексами, состоящими из двух порталных кранов, управляемых одним крановщиком, и системы управления технологическим процессом пропуска судов через шлюз, в которых ручное управление объектом сочетается во времени с автоматическим управлением.

В рассматриваемой далее эргатической системе функции управления объектом распределены между человеком-оператором (ЧО) и управляющей вычислительной машиной (УВМ) через устройство связи с объектом (УСО), которое представим блок-схемой [1, с. 493–495] на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема устройства связи с объектом

На пульте оператора УСО предусмотрены необходимые для управления исполнительными механизмами и объектом в целом органы управления в виде кнопок, переключателей, клавиатуры и др. С их помощью ЧО подает в 1-й блок управления сигналы-команды, которые нужным образом тиражируются этим блоком и распределяются в виде дискретных сигналов управления (ДСУ) между выходными блоками систем управления исполнительными механизмами. Аналогичным образом 1-й блок управления обрабатывает управляющие сигналы от УВМ и передает ДСУ вы-

ходным блокам, а также создает каналы связи между ЧО и УВМ. Пассивные УСО работают только по командам вычислительной части управляющей системы или оператора.

Информацию о состоянии объекта ЧО получает с пульта от информационной модели [2], которая реализуется с помощью измерительных приборов, мнемосхем, мониторов и других технических средств. Информационная модель служит также для отображения выработанных УВМ советов и рекомендаций оператору о совершении тех или иных управленческих действий и для отображения их целей и последствий.

На 2-й блок управления возлагаются задачи обработки входной и выходной информации, моделирования процессов в различных режимах работы эргатической системы. Для этого необходимо выполнять большой объем вычислительных операций. В активном УСО предусматривается такая возможность. Оно реализуется по принципу агрегатно-блочного построения средств вычислительной техники с возможностью подключения новых блоков оперативного запоминающего устройства и обработки информации.

В состав комплектов входных и выходных блоков входят преобразователи аналог–код, код–аналог, коммутаторы, усилители, регуляторы, наблюдатели, посредством которых получают информацию, в том числе и о не измеряемых датчиками физических величинах, характеризующих состояние объекта управления.

Исполнительные механизмы создают управляющие воздействия $u_1, u_2, \dots, u_r$ в объекте управления. Например, у судна u_1 — упор, создаваемый движителем (винтом); u_2 — момент силы, создаваемый рулем. Чтобы иметь возможность однозначно прогнозировать поведение (движение) объекта в зависимости от начальных условий, непосредственно предшествующих ДСУ, будем использовать модель в форме нормальной системы обыкновенных дифференциальных уравнений (для объекта с сосредоточенными параметрами). Для некоторого интервала времени $t_{s-1} \leq t \leq t_s$ между двумя последовательными ДСУ, действующими в моменты времени t_{s-1} и t_s , представим системы уравнений в векторной форме записи:

$$\frac{dx(t)}{dt} = f(x(t), u(t)), \quad (1)$$

$$\frac{dU(t)}{dt} = g^s(U(t), x(t)). \quad (2)$$

Уравнение (1) является неполным представлением динамики объекта в $(n + 1)$ -мерном пространстве состояний $\{t \times x_1 \times x_2 \times \dots \times x_n\}$, где t — время, $x_i(t) \in x(t)$, $i = 1 \dots n$ — фазовые координаты объекта, изменяющиеся со временем от воздействий $u_j(t) \in u(t)$, $i = 1 \dots r$, на объект со стороны исполнительных механизмов. Предполагается, что функции $f_1, f_2, \dots, f_n$ вектор-функции f правой части уравнения (1) непрерывно дифференцируемы по переменным состояния $x_1, x_2, \dots, x_n$ и непрерывны относительно переменных управления $u_1, u_2, \dots, u_r$.

Уравнение (2) описывает систему управления исполнительными механизмами, структурно представленную на интервале времени $[(t)_{s-1}, t_s]$ определенным комплектом выходных блоков (рис. 1). Переменные управления $u_1, u_2, \dots, u_r$ являются элементами вектора U . Предполагаем, что функции $g_j^s \in g^s$ непрерывно дифференцируемы по всем $U_k \in U$ ($k = 1, 2, \dots$) и непрерывны по $x_i \in x$.

Например, при раздельном управлении исполнительными механизмами динамика j -го исполнительного механизма может быть описана векторным дифференциальным уравнением:

$$\frac{dU_j(t)}{dt} = g^{js}(U_j(t), x(t)), \quad (3)$$

в котором $u_j(t)$ является элементом вектора $U_j(t)$.

Размерность вектора $U_j(t)$ обозначим через r_j . Можно положить для определенности, что первый элемент $U_{j1}(t)$ вектора $U_j(t)$ есть $u_j(t)$, то есть $U_{j1}(t) = u_j(t)$. В свою очередь векторы $U_j(t)$, $j = 1 \dots r$, являются компонентами вектора $U_j(t)$ в уравнении (2).

Объединим векторы $x(t)$ и $U(t)$ в один вектор-столбец:

$$\begin{pmatrix} t \\ x \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} x^{(1)} \\ U^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1(t) \\ X_2(t) \\ \vdots \\ X_N(t) \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Размерность вектора $X(t)$ равна $N = n + \sum_{j=1}^r r_j$.

Теперь систему дифференциальных уравнений для интервала времени $t_{s-1} \leq t \leq t_s$ представим в виде

$$\frac{dX(t)}{dt} = F^s(X(t)). \quad (5)$$

Вектор-функция $F^s(X(t))$ образована из правых частей уравнений (1) и (2). Предполагается, что она удовлетворяет условиям существования и единственности решения задачи Коши в рассматриваемой области пространства состояний $\{t \times X\}$.

Следуя методологии работы [3], будем рассматривать уравнение (5) как неполное представление управляемого движения объекта на интервале $t_{s-1} \leq t \leq t_s$, которому соответствует некоторая цель C_s , выражаемая через фазовые координаты объекта. Иначе говоря, подача дискретного сигнала управления ДСУ 1-м блоком управления (рис. 1) в момент t_{s-1} производится для реализации некоторой цели C_s . Эта цель может быть выражена математическими выражениями, связывающими фазовые координаты объекта. Самой цели C_s можем присвоить, например, некоторый номер и формально считать, что C_s — натуральное число.

Управляемому движению объекта на определенном интервале времени $[t_0 - \Delta t_0, t_M + \Delta t_M]$ ($\Delta t_0 > 0, \Delta t_M > 0$) в нормальном (штатном) режиме работы эрготической системы соответствует последовательная смена целей:

$$\dots \xrightarrow{t_0} C_1 \xrightarrow{t_1} C_2 \xrightarrow{t_{M-1}} C_M \xrightarrow{t_M} \dots \quad (6)$$

в моменты времени t_0, t_1, t_{M-1}, t_M . Число M определяет количество целей нижнего уровня иерархии — целей, которые могут быть развернуты во времени и в пространстве [4]. Полная система целей, развернутая во времени, например, при $M = 4$ показана на рис. 2.

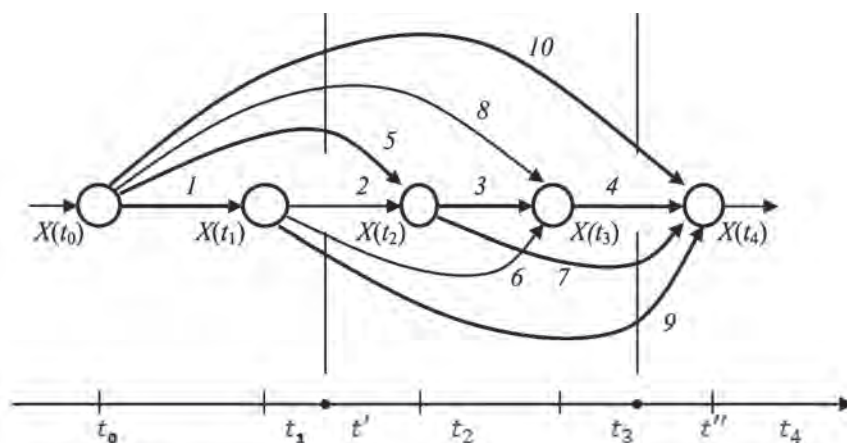


Рис. 2. Полная система целей, развернутая во времени при $M = 4$

Все цели представлены дугами графа и пронумерованы от 1 до 10.

Вершинам графа соответствуют значения векторов $X(t_s)$ фазовых координат в моменты времени t_s подачи ДСУ $\nabla F^1, \nabla F^2, \dots, \nabla F^2$ из 1-го блока эрготической системы в моменты времени $t_0, t_1, \dots, t_4$.

Структура полной системы целей для приведенного примера показана на рис. 3. Это иерархическая структура со слабыми связями.

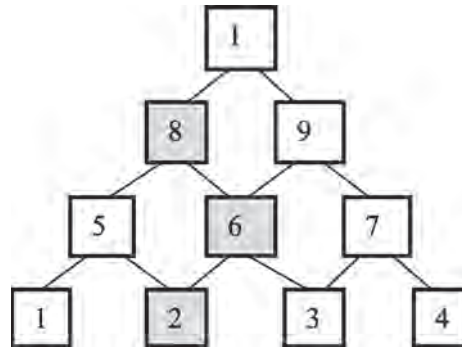


Рис. 3. Иерархическая структура полной системы целей при $M = 4$

Структура целей зависит от текущего времени t . Например, для сечения процесса функционирования системы управления, выделенного на рис. 2 вертикальной пунктирной линией при $t = t'$, в иерархической структуре будет отсутствовать цель с номером 1 (она уже достигнута до этого момента времени). Непосредственно перед окончанием решения задачи управления объектом на интервале $[(t)_0, t_M]$ при $t = t''$ в структуре остаются только цели 4, 7, 9, 10. Поэтому полной системе целей, отображенной на рис. 2 и 3, соответствует априорное описание управляемого движения в виде (5) на соответствующих интервалах времени $[(t)_{s-1}, t_s]$, построенное до момента времени t_0 .

Структура целей зависит также от конкретной реализации эргатической системы. Например, может быть, что цели 1 и 9 реализуются управлением $u_1(t)$, цели 5, 7 — управлением $u_2(t)$, 5, 3, 4 — управлением $u_3(t)$. Цель 10 является общей целью управления для интервала времени $[t_0, t_M]$. Она реализуется в любой момент времени из этого интервала путем управления всеми исполнительными механизмами. На рис. 2 перечисленные цели выделены утолщенными линиями. Отсутствующие цели выделены на рис. 3 затемненными прямоугольниками. В этом случае априорное представление целей, например, в виде структурной схемы будет таким, как показано на рис. 4, а.

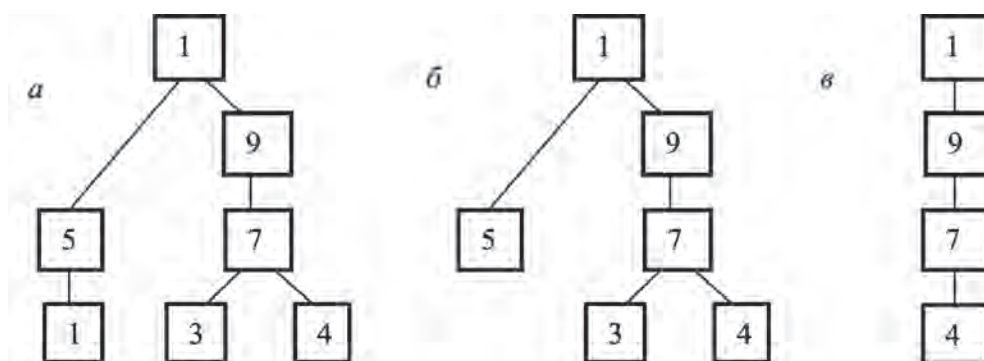


Рис. 4. Иерархическая структура неполной системы целей при $M = 4$

Изменение структуры целей со временем при реализации управляемого движения объекта иллюстрируется на рис. 4, а и б для моментов времени $t = t'$ и $t = t''$.

В априорном описании координат объекта в пространстве состояний для уравнения (5) будем пометать координаты точки чертой сверху над буквенным обозначением координат. Тогда значение вектора $\bar{X}^s$ в момент времени $\bar{t}_s$, полученное в результате решения уравнения (5) с начальным условием $\bar{X}^{s-1}$ при $t = \bar{t}_{-1s}$, представим в виде

$$\bar{X}^s(s-1) = \varphi^s(\bar{t}^s, \bar{X}^{s-1}), \quad (7)$$

где φ^s — вектор-функция размерности N .

В момент $\bar{t}^s$ действия дискретного сигнала управления (ДСУ ∇F^{s+1}) на выходе 1-го блока управления (рис. 1) изменяется правая часть уравнения (5): $F^s(\bar{X}^s(s-1)) \xrightarrow{t_s} F^{s+1}(\bar{X}^s)$, так как изменяется цель и соответственно структура системы управления исполнительными механизмами, причем в реальной системе управления ДСУ вызывает коммутации электрических цепей — замыкание и размыкание контактов, включение и отключение электронных ключей и т. п. Действие ДСУ ∇F^{s+1} в момент $\bar{t}^s$ отражается на модели (2) переключением $g^s(U(\bar{t}^s), x(\bar{t}^s)) \xrightarrow{\bar{t}^s} g^{s+1}(U(\bar{t}^s), x(\bar{t}^s))$. Такой ДСУ имеет смысл, если $g^{s+1}(U(\bar{t}^s), x(\bar{t}^s)) \neq g^s(U(\bar{t}^s), x(\bar{t}^s))$. Поэтому примем, что $F^s(\bar{X}^s(s-1)) \neq F^{s+1}(\bar{X}^s)$ и определим

$$\nabla F^{s+1} F^s(\bar{X}^s(s-1)) - F^{s+1}(\bar{X}^s) = F^s(\bar{X}^s) - F^{s+1}(\bar{X}^s). \quad (8)$$

Поскольку вектор ∇F^{s+1} имеет хотя бы один элемент, отличный от нуля, то траектория $\bar{X}(t)$ в окрестности момента $\bar{t}^s$ имеет угловую точку при $t = \bar{t}^s$.

В общем случае полной системе целей, состоящей из

$$K = \sum_{s=1}^{s=M} s$$

целей разного уровня, может быть поставлена система из K целевых функций

$$\bar{y}(s, p) = \gamma_{s,p}(\bar{X}^s, \bar{X}^p), \quad (9)$$

где

$$1 \leq s \leq M, s+1 \leq p \leq M. \quad (10)$$

Вектор определяется по вектору s помощью выражения (7).

Отклонение ДСУ от момента времени $\bar{t}^s$ на некоторую величину τ_s вызовет изменение аргументов целевой функции $\gamma_{s,p}$ в выражении (9). Это может привести к увеличению или к уменьшению значения целевой функции $y(s, p)$. Чтобы получить такую информацию, найдем новый вектор X^s , приведя его значение к моменту времени $\bar{t}^s$. Учитывая (8), получим

$$X^s = \bar{X}^s + (F^s(\bar{X}^s) - F^{s+1}(\bar{X}^s))\tau_s + O(\tau_s) = \bar{X}^s + \nabla F^{s+1}\tau_s + O(\tau_s),$$

где $O(\tau_s)$ — вектор, компоненты которого стремятся к нулю при $\tau_s \rightarrow 0$.

Обозначим через

$$X(t, X^s) = X(t, \bar{X}^s + \nabla F^{s+1}\tau_s) \quad (11)$$

решение уравнения (5) с начальным значением X^s при $t = \bar{t}^s$.

Раскладывая вектор-функцию $X(t, X^s)$ в ряд Тейлора относительно точки $\bar{X}^s$ и ограничиваясь линейными членами при малом значении τ_s , получим

$$X(t, X^s) = X(t, \bar{X}^s) + \left(\frac{\partial X(t, X^s)}{\partial X^s} \right)_{X^s = \bar{X}^s} \nabla F^{s+1}\tau_s \quad (12)$$

Как известно [5], матрица

$$\left(\frac{\partial X(t, X^s)}{\partial X^s} \right)_{X^s = \bar{X}^s} = \bar{\xi}^{s+1}(t) \quad (13)$$

удовлетворяет дифференциальному уравнению:

$$\frac{d\bar{\xi}^{s+1}(t)}{dt} = \frac{\partial F^{s+1}(\bar{X}(t))}{\partial \bar{X}} \bar{\xi}^{s+1}(t) \quad (14)$$

с начальным значением

$$\bar{\xi}^{s+1}(\bar{t}_s) = I, \quad (15)$$

где I — единичная матрица $N \times N$.

В момент $t = \bar{t}_{s-1}$:

$$X(\bar{t}_{s-1}, X^s) = X^{s+1} + \bar{\xi}^{s+1}(s) \nabla F^{s+1} \tau_s, \quad (16)$$

где $\bar{\xi}^{s+1}(s)$ — матрица $\bar{\xi}^{s+1}(t)$, компоненты которой найдены для момента времени $\bar{t}_{s+1}$ в результате решения уравнения (14) с начальным значением (15). Аналогичным образом получим

$$X(\bar{t}_{s+1}, X^s) = X^{s+2} + \bar{\xi}^{s+2}(s+1) \bar{\xi}^{s+1}(s) \nabla F^{s+1} \tau_s$$

и так далее до

$$X(\bar{t}_p, X^s + \bar{X}^p + \bar{\xi}^p(p-1) \bar{\xi}^{p-1}(p-2) \dots \bar{\xi}^{s+1}(s) \nabla F^{s+1} \tau_s).$$

Иначе, обозначая

$$\bar{\xi}^p(s) \bar{\xi}^p(p-1) \bar{\xi}^{p-1}(p-2) \dots \bar{\xi}^{s+1}(s), \quad (17)$$

имеем для момента времени $\bar{t}_p$:

$$X(\bar{t}_p, X^s) = \bar{X}^p + \bar{\xi}^p(s) \nabla F^{s+1} \tau_s. \quad (18)$$

Чтобы распространить полученный результат на весь диапазон изменения s и p , заданный условием (10), необходимо располагать информацией о $F^0(\bar{X}^0)$ на интервале $[t_0 - \nabla t_0, t_0]$ и о $\nabla F^{M+1}(\bar{X}^M)$ на интервале $[t_M, t_M + \nabla t_M]$. (С чего начать управление объектом и чем закончить управление.) Тогда будут определены дискретные сигналы управления ∇F^1 и ∇F^M при любых значениях $\nabla t_0 > 0, \nabla t_M > 0$. Поэтому, дополнив функциональные зависимости (17) и (18) матрицей

$$\bar{\xi}^0 \text{ для } \nabla F^1 = F^0(\bar{X}^0) - F^1(\bar{X}^0) \text{ и } \tau_0 \quad (19)$$

и вектором

$$\nabla F^M = F^M(\bar{X}^M) - F^{M+1}(\bar{X}^M) \quad (20)$$

получим полный набор математических моделей, пригодных для программирования, проведения расчетов на ЭВМ и получения информации о возможных последствиях коррекции дискретных сигналов управления динамическим объектом, поведение которого описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений.

Таким образом, представляемые в виде числовых матриц $\bar{\xi}^{s+1}(s)$ решения дифференциального уравнения в вариациях (14) с начальным значением (15) на каждом интервале времени между дискретными сигналами управления позволяют:

— получить по формуле (18) приращения $X(\bar{t}_p, X^s) - \bar{X}^p$ фазовых координат объекта при коррекции дискретного сигнала управления ∇F^{s+1} на величину τ_s для всех значений s и p , ограниченных условием (10);

— рассчитать новые значения целевых функций (9) для полной системы целей или для неполной системы целей в соответствии с постановкой конкретной задачи;

— представить информацию об изменении значений фазовых координат и целевых функций человеку-оператору и использовать ее для выработки с помощью УВМ оптимального управления объектом;

— возложить, например, по решению человека-оператора реализацию некоторых или всех дискретных сигналов оптимального управления на автоматические устройства эргатической системы [6, с. 7–13].

Список литературы

1. Устройство связи с объектом: энцикл. кибернетики. — Киев: Гл. ред. Украинской сов. энциклопедии, 1974. — Т. 2.
2. *Денисов В. Г.* Инженерная психология в авиации и космонавтике / В. Г. Денисов, В. Ф. Онищенко. — М.: Машиностроение, 1972. — 316 с.
3. *Корнев Г. В.* Цель и приспособляемость движения / Г. В. Корнев. — М.: Наука, 1974. — 528 с.
4. *Волкова В. Н.* Основы теории систем и системного анализа / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. — 520 с.
5. *Болтянский В. Г.* Математические методы оптимального управления / В. Г. Болтянский. — М.: Наука, 1969. — 408 с.
6. *Тырва В. О.* О распределении функций управления движением в системе «человек–машина» / В. О. Тырва // Проблемы развития транспортной инфраструктуры Европейского Севера России. — Котлас: ФГОУ ВПО «СПГУВК», 2004. — Вып. 4.

МОРСКОЕ ПРАВО

УДК 341.1/8

Я. Е. Бразовкая,
ст. преподаватель факультета морского права,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

МЕЖДУНАРОДНАЯ УНИФИКАЦИЯ УПРОЩЕНИЯ ТАМОЖЕННО-ТАРИФНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ГРУЗА МОРСКИМ ТРАНСПОРТОМ

INTERNATIONAL UNIFICATION OF SIMPLIFICATION OF CUSTOMS REGULATION IN MARITIME TRANSPORTATION

Статья посвящена анализу международно-правовых источников, регламентирующих устранение препятствий в международной торговле, вызванных разнообразием и сложностью таможенных процедур, возникающих в том числе в морских портах при транспортировке груза морским транспортом.

The article is devoted to analysis of international legal sources governing the elimination of obstacles to international trade caused by the diversity and complexity of customs procedures arising including seaports in transportation of cargo by maritime transport.

Ключевые слова: международная унификация, морской транспорт, электронный обмен данных, электронная очистка судна и груза, упрощение таможенных формальностей.

Key words: international unification, maritime transport, electronic data exchange, electronic clearance of ships and cargoes, simplification of customs formalities.



При коммерческом обороте груза морским транспортом, да и не только, важным остается прохождение судами портового контроля, что связано с оформлением документов и получением разрешения от компетентных органов при пересечении границы Российской Федерации в морских портах.

Основная потребность как порта, так и грузовладельцев, состоит в том, чтобы повысить эксплуатационную производительность и обмен информацией, а также сократить время стоянки судов при заходе в морские порты и при выходе из них, что связано с оформлением большого количества документов и прохождением большого количества портовых и государственных процедур. Это в настоящее время одна из важнейших функций порта в пределах системы материально-технического обеспечения и снабжения.

Вопросами упрощения и унификации многих сторон таможенно-тарифного регулирования, таможенных формальностей и документов регулярно занимаются многочисленные межгосударственные международные учреждения. Среди них следует назвать Всемирную торговую организацию, Конференцию ООН по торговле и развитию (ЮНКТАД), Европейскую экономическую комиссию (ЕЭКООН), Международную таможенную организацию¹ и ряд других.

Межгосударственные международные учреждения в рамках своей работы подготовили целый ряд международных соглашений, рекомендаций, справочников и инструкций. Но в первую очередь в результате их деятельности появились международные конвенции и другие правовые документы, в которых собран и синтезирован мировой опыт, определяющий лицо таможенного регулирования начала XXI в. и направления его развития. Проанализируем некоторые наиболее важные из этих правовых документов.

В 1973 г. на состоявшейся в Киото 41/42-й сессии Совета таможенного сотрудничества была заключена **Международная конвенция по упрощению и гармонизации таможенных процедур**

¹ Ранее — Совет по таможенному сотрудничеству.

(Киотская конвенция)¹, оказавшая большое влияние на развитие и формирование современной законодательной и административной базы и практики работы таможенных служб многих стран. Эта Конвенция призвана содействовать устранению препятствий в международной торговле, которые могут возникнуть в результате существования в различных странах разнообразных и сложных таможенных процедур и несовпадения требований к таможенным формальностям и документам.

Конвенция, с одной стороны, направлена на стимулирование внешнеторговой деятельности путем упрощения и ускорения процедур таможенного оформления и таможенного контроля, а с другой стороны, к тому, чтобы такое ускорение и упрощение не привели к нивелированию интересов государства и общества в части взыскания пошлин и налогов, защиты внутреннего рынка и иных интересов государства и общества, то есть чтобы таможенные администрации могли эффективно решать стоящие перед ними задачи путем перехода на применение средств контроля на основе методов аудита и управления рисками. Именно поэтому Киотская конвенция является ориентиром в построении таможенного регулирования многих стран. Кроме того, Киотская конвенция является базой для унификации таможенного законодательства разных стран.

Положения Конвенции сформулированы в виде принципов, которые, собственно, и являются базой для выработки на их основе конкретных правил регулирования тех или иных процедур и поиска компромисса между интересами бизнес-сообщества и государства.

Структурно Конвенция состоит из Протокола об изменении Международной конвенции об упрощении и гармонизации таможенных процедур от 26 июня 1999 г., самого текста Конвенции и приложений к ней — Генерального приложения и Специальных приложений, которые посвящены отдельным таможенным процедурам и режимам².

Конвенция была пересмотрена и в новой редакции принята в июне 1999 г. Советом Международной таможенной организации. Пересмотренная Конвенция содержит новое «Общее приложение» (General Annex), содержащее 10 глав с описанием необходимых процедур и практики, которые должны внедрить все участники Конвенции.

«Общие приложения» должны принять (без каких-либо оговорок) все участники Конвенции, они касаются принципиально важных положений, относящихся ко всем таможенным процедурам и практике работы таможенных органов, с целью сделать таможенную практику различных стран согласованной. Кроме того, Конвенция имеет «Специфические (конкретные) приложения» (Specific Annexes), которые относятся к отдельным таможенным процедурам.

Одним из ключевых моментов содержания Конвенции является то, что по ее условиям не просто допускается, но приветствуется установление договаривающейся стороной в своем национальном законодательстве более благоприятных условий, чем предусмотрено в Конвенции. То есть, если в какой-либо части таможенное регулирование страны предоставляет более благоприятные условия для лиц, вступающих в правоотношения с таможенной службой, чем это предусмотрено в Конвенции, менять их и приводить в строгое соответствие с Конвенцией нет необходимости³.

В Стандарте 3.2 Конвенции предусматривается, что по запросу заинтересованного лица и по причинам, признанным таможенной службой обоснованными при наличии возможностей, таможенные органы исполняют возлагаемые на них функции, предусмотренные для целей таможенной процедуры и практики, вне установленных часов или расположения таможенных органов. Любые сборы, взимаемые таможенной службой, ограничиваются приблизительной стоимостью оказанных услуг.

¹ Вступила в силу с 25 сентября 1974 г. Российская Федерация присоединилась к Конвенции в редакции Протокола о внесении изменений в Международную конвенцию об упрощении и гармонизации таможенных процедур от 26 июня 1999 г. (Федеральный закон № 279-ФЗ от 03 ноября 2010 г. // СЗ РФ. 2010. № 45. Ст. 5744).

² Международная конвенция об упрощении и гармонизации таможенных процедур от 18 мая 1973 г. в редакции Протокола от 26 июня 1999 г. [Электронный ресурс]. Федеральная таможенная служба: участникам ВЭД. URL: <http://ved.customs.ru/ved/info/acts/8-2008-10-01-II-37-03/3-2008-09-30-18-34-04.html>

³ Статья 2 гл. 2 Конвенции, а также см.: Глазунова Н. А. Новая философия таможенного контроля в соответствии с Киотской конвенцией // Промышленник России. 2006. № 2. С. 32.

Предусматривается возможность автоматизированной очистки, при которой формат декларации на товары, подаваемой в электронном виде, основывается на международных стандартах электронного обмена информацией¹.

Таможенным службам следует ограничиваться перечнем данных, подлежащих внесению в декларацию на товары, только тех сведений, которые признаны необходимыми для начисления и взимания пошлин и налогов, формирования статистики и применения таможенного законодательства.

Закрепляется возможность подачи предварительной или неполной декларации на товары при условии, что она содержит сведения, признанные таможенной службой необходимыми и что декларант обязуется дополнить ее в установленный срок.

А выпуск товаров не задерживается при условии представления любых требуемых гарантий для обеспечения взимания любых применимых пошлин и налогов², общая сумма этих гарантий должна быть минимальной и в отношении уплаты пошлин и налогов не должна превышать сумму, подлежащую взиманию в случае необходимости³.

Регламентировано, что все товары, включая транспортные средства, поступающие или убывающие с таможенной территории, независимо от того, облагаются ли они пошлинами и налогами, подлежат таможенному контролю, который должен сводиться к минимуму, необходимому для обеспечения соблюдения таможенного законодательства, а при его проведении таможенные службы используют систему управления рисками.

Исходя из проведенного анализа рисков, таможенная служба определяет степень необходимой проверки лиц и товаров, включая транспортные средства.

В целях совершенствования таможенного контроля таможенным службам следует стремиться к сотрудничеству с другими таможенными администрациями, участниками торговой деятельности и соответственно к заключению соглашений об оказании взаимной административной помощи и меморандумов о взаимопонимании.

Из Специального приложения «А» «Прибытие товаров на таможенную территорию» и Рекомендации 7 следует, что в случаях, когда таможенный орган, которому товары должны быть предъявлены, расположен не в месте прибытия товаров на таможенную территорию, таможенная служба должна требовать подачи документа в таком пункте прибытия товара **лишь в тех случаях, когда таможенная служба считает это необходимым** для целей контроля.

Таможенная служба должна ограничить требуемую информацию той, которая содержится в обычной документации перевозчика, при этом ее требования должны основываться на соответствующих международных транспортных соглашениях. А, как следует из Рекомендации 10, в качестве единственной документации, требуемой для предъявления товаров, таможенная служба, как правило, принимает грузовую декларацию.

Примечательно закрепленное в Стандарте 17 положение о разгрузке, которая должна начаться в кратчайшие сроки после прибытия транспортного средства в место разгрузки.

Предусматривается возможность закрепления в национальном законодательстве альтернативного способа декларирования товара при условии, что такой способ обеспечивает предоставление необходимых сведений, относящихся к товарам, подлежащим очистке согласно соответствующей таможенной процедуре.

Конвенция охватывает широкий круг вопросов деятельности таможенных учреждений: таможенный контроль, экспорт, импорт, транзит, применение информационных технологий, апелляции, взаимоотношения с торгово-промышленными кругами. Участники Конвенции могут принять все «Специфические приложения» или их часть.

¹ Международные стандарты электронного обмена информацией определяются Рекомендациями по информационным технологиям Совета таможенного сотрудничества (Стандарт 3.11).

² Стандарт 3.13, 3.14.

³ Стандарт 5.6.

Широкое использование положений Конвенции российскими таможенными службами — это важное направление учета и использования современного опыта зарубежных таможенных служб.

Хотелось бы отметить, что в некоторых странах были введены специальные процедуры, в соответствии с которыми проведение подробного физического досмотра товаров и представление официальных доказательств в пункте ввоза больше не требуются, что позволяет уполномоченным импортерам доставлять товары непосредственно в свои помещения, иногда на основе отсроченных платежей, при условии, что:

- товары могут быть подвергнуты досмотру;
- импортная декларация и достаточные подтверждающие доказательства будут представлены по требованию;
- такая информация будет сохранена для последующей проверки;
- надежность платежей и ответственность за товары гарантируются.

Европейская экономическая комиссия ООН, осознавая стремление Совета таможенного сотрудничества, отраженное в том числе в приложениях к Киотской конвенции, и особенно в приложении В.1, способствовать предоставлению таможенными органами специальных льгот для быстрой таможенной очистки товаров в марте 1979 г., приняла **Рекомендацию № 13 «Упрощение идентифицированных правовых проблем в процедурах импортной таможенной очистки»**.

Так, Рекомендация не только рекомендует правительствам изучить и определить возможность признания при определенных условиях данных, переданных электронными или другими автоматическими способами, но и определила правовые проблемы упрощения внешнеторговых процедур, связанные с импортными процедурами, которые обусловлены тем, что органы, занимающиеся импортом, руководствуясь национальным законодательством и предписаниями, часто требуют для таможенной очистки товаров представления целого ряда надлежащим образом удостоверенных документов. Некоторые из этих документов (часто называемых транспортными документами) должны быть составлены и представлены в пункте экспорта в момент отгрузки, и они не всегда имеются в пункте импортной таможенной очистки в момент прибытия товаров, что может повлечь за собой задержку и значительное увеличение затрат, которые в конечном счете будут покрываться гражданами страны-импортера в форме либо более высоких цен на товары, либо более высоких налогов, либо того и другого. Несопоставимость данных, содержащихся в документах, или отсутствие необходимых сведений в них создает при этом дополнительные проблемы.

Правовые требования, которые порождают эти процедурные и документарные требования регламентирующего характера в отношении документации, могут замедлить международную торговлю, поэтому важно изучить способы, с помощью которых таможенные и регулирующие органы могут воспользоваться в юридическом плане преимуществами технического прогресса, в частности в области передачи информации электронными или другими автоматическими способами.

Следует отметить, что реальной заботой административных органов, занимающихся регулированием импорта, является идентификация товаров и торговых партнеров, проверка характера и стоимости товаров, их происхождения и правильности их классификации и оценки для таможенной очистки, а также соответствия санитарным нормам и нормам безопасности.

Официальный документ — импортная декларация — должен быть представлен в пункте импорта лицом, которое несет юридическую ответственность за уплату импортных пошлин, правильность данных и характеристик товаров. Требование представить декларацию само по себе обычно не создает проблем, вызывающих необходимость упрощения внешнеторговых процедур. **Проблемы возникают** главным образом **в связи с требованием представить достаточные подтверждающие данные**, которые, как правило, могут быть в наличии в пункте экспорта только в момент или после отправки товаров; при использовании традиционных документов такие данные часто не могут быть переданы достаточно быстро туда, где они нужны, то есть в пункт импорта.

Основные цели таможенных деклараций состоят в том, чтобы позволить оценить и взимать любые таможенные пошлины, налоги или другие сборы, выплачиваемые за товары, контролиро-

вать импорт товаров с особым учетом тех товаров, которые подлежат национальным ограничениям (как, например, лицензирование, квоты или другие ограничения или прямое запрещение импорта), контролировать процедуры освобождения от уплаты таможенной пошлины и зачастую обеспечивать информацию, на основе которой составляются данные торговой статистики. Они являются также основой для юридических мер, принимаемых в случаях нарушения предписаний.

Поскольку таможенная декларация должна служить столь многим различным целям, она часто становится сложным документом и должна сопровождаться разнообразными дополнительными документами, такими, например, как копия коммерческого счета (или специальная таможенная фактура), декларация о стоимости, импортная лицензия, свидетельство о происхождении или другой документ, подтверждающий обоснованность требования о снижении пошлины (или о беспошлинном ввозе). Обязанность представления таможенной декларации и любых других необходимых дополнительных документов лежит на импортере товаров или его агенте (таможенный агент, экспедитор, таможенный маклер и т. д.).

Так, информация, требуемая для импортных деклараций, собирается импортером или его агентом из целого ряда источников и может быть в общем виде сгруппирована под следующими заголовками:

- 1) товары — упаковка, описание, стоимость, количество, происхождение;
- 2) участвующие стороны — импортер, грузоотправитель, агент;
- 3) перевозка — способ и средства перевозки, место погрузки и разгрузки, номер контейнера;
- 4) специальные условия — лицензия, квота, товары для складирования.

Некоторая часть этой информации может быть получена предъявителем декларации до или вскоре после того, как товары были отправлены экспортером, из коммерческих счетов, упаковочных листов и коносаментов, в частности в тех случаях, когда такая информация передается сразу после ее появления, например данные коммерческого счета, передаваемые по телексу, или данные транспортного документа, передаваемые с помощью ЭВМ. Иногда информация о перевозке поступает лишь в момент фактического прибытия товаров, а транзитные документы часто перевозятся водителями транспортных средств, используемых для международных перевозок. Получив подробные данные о грузе, импортеры будут осведомлены об особых условиях и будут нести ответственность за обеспечение представления импортных лицензий и требуемого поступления свидетельств о происхождении, санитарных документов и т. д.

В некоторых случаях импортеры обязаны сделать предварительную оценку величины сборов, подлежащих уплате.

Требование предъявления импортной декларации само по себе не создает серьезной проблемы в области упрощения торговых процедур, так как этот документ может быть составлен и удостоверен в стране-импортере для представления его в пункте таможенной очистки товаров, а документы, которые направляются вместе с товарами, например судовой манифест или копии транспортных документов, могут создавать определенные неудобства, однако они не влекут за собой возникновения серьезных проблем в области упрощения.

Основными документами, в связи с которыми действительно возникают проблемы, являются:

- коммерческий счет, который часто должен быть подписан, а иногда даже и удостоверен;
- таможенная или консульская фактура, аналогичным образом подписанная и удостоверенная;
- свидетельства о происхождении, подписанные и удостоверенные;
- специальные сертификаты (карантинный, весовой и т. п.).

Большая часть данных, содержащихся в этой документации, является чрезвычайно важной для таможенных органов для осуществления эффективной импортной таможенной очистки. В то же время, как следует из Рекомендации, нужно отдавать себе отчет в том, что потребность в них вызывается необходимостью идентифицировать, проверять, классифицировать и оценивать товары.

Формальное требование документа на бумаге и подписи соответствует историческим потребностям и, вне всякого сомнения, до настоящего времени было полностью оправданным, однако меняющиеся обстоятельства требуют переоценки этих требований. В любом случае ценность документа определяется не столько бумагой, сколько информацией, которую она несет.

Рекомендация отмечает, что преимуществом бумажного документа является то, что он остается неизменным и что в него не может быть внесена дополнительная информация без утраты его достоверности. Даже если, как это нередко бывает, в нем нет необходимой информации или она является частично неверной или даже ложной, он сохраняет свои основные характеристики. Однако недостатком бумажного документа является то, что он не позволяет осуществить быструю передачу данных.

Как правило, таможенные органы не выпускают импортные товары до тех пор, не получат импортную декларацию и не дадут своего согласия на увоз товаров. Однако с учетом последних изменений в методах перевозки грузов таможенные власти ввели различные более гибкие меры, предназначенные для ускорения увоза грузов из портов и пограничных пунктов по представлении упрощенных деклараций, при этом таможенная очистка товаров производится внутри страны по представлении полностью оформленных деклараций.

На Европейском континенте большее распространение получает практика осуществления таможенного контроля не в портах или в пограничных пунктах, а в таможнях, расположенных внутри страны, или даже в собственных помещениях торговых фирм, и **конечная цель** этого состоит в том, чтобы **заменить физический контроль проверкой счетов торговых фирм** при условии проведения отдельных контрольных проверок в момент фактического прибытия груза в порт или в момент пересечения границы.

В п. 19 Рекомендации № 13 определяется, что в условиях неотложной потребности в более эффективной импортной таможенной очистке следующие моменты являются важными:

- существенно необходимо, чтобы органы, занимающиеся импортом, могли производить быструю проверку правильных и достаточных данных;
- должна быть представлена импортная декларация и в пункте импорта необходимо присутствие лица, которое отвечало бы за уплату импортных пошлин, правильность данных и товары;
- должны быть обеспечены правовые гарантии;
- необходимо разработать решения, которые обеспечат более эффективную импортную таможенную очистку, независимо от того, будут ли и далее использоваться традиционные бумажные документы или будут применяться все более сложные методы.

Фактическая доставка реализуемых товаров конечному потребителю или грузополучателю часто сопряжена с проблемами, в силу факторов препятствующих физическому перемещению товаров, а именно задержки, которые вызваны неадекватными инструкциями, информацией или различными официальными требованиями контрольного характера, устанавливаемыми государственными административно-управленческими органами. Коммерческие партнеры, осуществляющие торговлю электронным путем, нуждаются в дополнительных мерах, направленных на сокращение или недопущение ненужных задержек при поставках их грузов.

ЕЭК ООН, будучи озабоченной тем, что многочисленные существующие формальности, процедуры и практические меры создают препятствия и дополнительные издержки для международной торговли и таким образом мешают странам и предприятиям в полной мере пользоваться преимуществом международной торговли, 29 марта 2001 г. приняла **Рекомендацию № 18 «Меры по упрощению процедур международной торговли»**, которая рекомендует правительствам, административно-управленческим органам и организациям, которые занимаются национальными правилами и практикой, относящимися к движению товаров в международной торговле, содействовать работе по упрощению процедур на международном уровне посредством соблюдения общих принципов и осуществления мер по упрощению процедур.

Рекомендация определяет, что предъявляемые к данным процедуры и требования:

— должны быть сведены к минимуму, упрощены, согласованы и должны соответствовать международным стандартам;

— должны иметь коммерческую ориентацию и быть более тесно связанными с торговыми и транспортными потребностями;

— требования, предъявляемые к данным, должны быть минимальными, а также должны быть упрощенными, согласованными и стандартизированными с целью облегчения потока информации;

— законы, правила и другая информация, касающиеся процедур и требований, предъявляемых к данным, должны быть беспрепятственно доступны всем затрагиваемым сторонам.

Определяется необходимость поощрения использования информационной и коммуникационной технологии, а также связанных с ней электронных решений и стимулирование использования электронных документов и стандартного формата (Рекомендация СЕФАКТ ООН № 31).

В группе 3 «Меры, связанные с официальным контролем» определяется, что либерализация торговли выступает одним из ключевых факторов экономического роста, что во многих случаях не находит отражения в стремлении облегчить и ускорить трансграничное перемещение товаров.

Торговым и транспортным компаниям по-прежнему приходится соблюдать целый ряд процедур и формальностей, которые сдерживают развитие новых систем торговли и транспорта и влекут за собой излишние транзакционные издержки.

Вместе с тем многие меры контроля за товарами, пересекающими границы, являются обоснованными с учетом национальных и международных общественных интересов и обуславливаются необходимостью получения доходов, наблюдения за перевозкой опасных грузов, вредных отходов и ядерных компонентов, а также запрещения незаконного оборота наркотиков и связаны не с таможенными процедурами, а с деятельностью других органов, занимающихся вопросами трансграничной торговли.

На основе непрерывного сотрудничества следует обеспечить надлежащую сбалансированность частных и государственных интересов. Факт участия различных органов диктует необходимость координации и обеспечения транспарентности их деятельности в целях содействия развитию торговли.

Если говорить о таможенных органах, то Протокол о внесении поправок в Киотскую конвенцию (Брюссель, 26 июня 1999 г.) должен способствовать более тесной увязке таможенных процедур и практики во всем мире и предусматривает, что таможенные органы обязаны стремиться к тому, чтобы:

— добиваться транспарентности и предсказуемости для всех участников международной торговли;

— использовать механизмы управления рисками;

— сотрудничать с другими соответствующими органами и торговыми кругами;

— применять надлежащие международные стандарты.

Поэтому странам следует прилагать все возможные усилия для присоединения к этой Конвенции.

В Колумбусском заявлении министров по вопросу об эффективности торговли (опубликованном ЮНКТАД) и Международных руководящих принципах деятельности таможенных органов (опубликованных МТП) также содержатся рекомендации, направленные на дальнейшее упрощение и стандартизацию таможенной практики.

Применительно к осуществлению таможенных операций учреждениями, занимающимися предотгрузочной инспекцией, в **Рекомендации ЕЭК ООН № 27** определяется, что такая деятельность должна ограничиваться определенным периодом времени, в течение которого соответствующее правительство должно предпринять все возможные меры для того, чтобы его таможенная служба вновь приступила к выполнению своих обычных обязанностей.

В п. 3.4 рекомендована мера, которая определяет, что правительственным органам следует запрашивать минимальное количество данных и документов для целей контроля и по возмож-

ности использовать коммерческую информацию, а запрашивать данные, касающиеся импорта и экспорта, следует лишь один раз и обеспечивать возможность для их представления в одну инстанцию (концепция единого входа).

Ключевой является рекомендательная мера, предусматривающая возможность высвобождения товаров сразу же по их прибытии в пункт назначения, а для того, чтобы упростить очистку товаров, следует разрешить предварительную подачу документов (п. 3.6), а также мера по минимальному выборочному контролю на основе принципов управления рисками. Так, контрольные функции правительственных органов должны быть сведены к минимуму, необходимому для выполнения их главных задач, и должны осуществляться на выборочной основе с максимально возможным использованием методов управления рисками.

В соответствии с положениями **Международной конвенции о согласовании условий проведения контроля грузов на границах**¹ (Женева, 21 октября 1982 г.) для облегчения международной перевозки грузов государствам-участникам следует сокращать требования в отношении соблюдения формальностей, видов и продолжительности контроля грузооборота, в том числе и путем национальной и международной координации процедур контроля и методов их применения². Конвенция допускает следующие виды контроля: таможенный; медико-санитарный; ветеринарный; фитосанитарный; соответствия техническим стандартам и контроль качества.

Участники Конвенции взяли на себя обязательства использовать в отношениях друг с другом и с компетентными международными органами документы, составленные в соответствии с образцом — формуляром ООН. Указанные документы могут быть изготовлены «...с использованием любого соответствующего технического процесса, при условии, что они отвечают официальным правилам в отношении их формы, аутентичности и заверения, а также при условии, что они легко читаемы и понятны» (ст. 9).

Согласно Приложению 1 в случае необходимости и при условии содействия облегчению международных перевозок грузов допускается проведение всех или отдельных видов контроля не на границе.

Компетентным службам следует принимать все надлежащие меры для того, чтобы проводить контроль по возможности одновременно или в возможно короткое время.

Конвенцией закрепляется возможность предоставления таможи компетентными службами в прямой форме полномочий проводить от их имени все или некоторые виды контроля, ответственность за проведение которых несут эти службы. В таком случае эти службы обеспечивают, чтобы таможням были переданы все необходимые средства.

Для упрощения внешнеторгового делопроизводства и сокращения связанных с этим расходов 14 июня 1983 г. в Брюсселе была подписана **Международная конвенция о согласованной системе описания и кодирования товаров**³. Конвенция создала гармонизированную товарную номенклатуру товаров для таможенных и статистических целей. Согласно ст. 3 Конвенции каждая договаривающаяся сторона обязуется, что ее таможенно-статистическая номенклатура будет приведена в соответствие с Гармонизированной системой. Обязуется использовать все товарные позиции и субпозиции указанной системы, а также относящиеся к ним цифровые коды без каких-либо дополнений или изменений; применять основные правила классификации для толкования; соблюдать порядок кодирования; осуществлять публикацию своих статистических данных по импорту и экспорту товаров в соответствии с шестизначным кодом.

¹ Россия присоединилась к Конвенции 28 января 1986 г.

² См.: ст. 2 названной Конвенции.

³ Данный документ вступил в силу с 1 января 1988 г. В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 3 апреля 1996 № 372 для Российской Федерации данный документ вступил в силу с 1 января 1997 г. // Таможенные ведомости. 1996. № 8.

В 1972 г. для облегчения контейнерных перевозок в Женеве была подписана **Таможенная конвенция, касающаяся контейнеров**, из положений которой следует, что контейнеры, отвечающие требованиям Конвенции, принимаются для перевозки под охраной таможенной печати¹.

23 июня 2005 г. руководители национальных таможенных администраций² приняли «Рамочные стандарты безопасности и облегчения мировой торговли». По мнению многих экспертов, этот новый инструмент знаменует собой начало принципиально нового подхода к методам работы и взаимодействия таможенных администраций и деловых кругов, который позволит получить значительные экономические, финансовые и социальные дивиденды. Данный инструмент предназначен для применения всеми государствами — членами ВТО вне зависимости от уровня их экономического развития, что и станет залогом использования положительных факторов глобализации. Одним из основополагающих принципов Рамочных стандартов является создание единого набора международных стандартов и достижение таким образом единообразия и предсказуемости. Это позволит также сократить многочисленные и сложные требования в отношении отчетности.

Рамочные стандарты WCO состоят из четырех основных элементов.

Во-первых, они предусматривают гармонизацию требований в отношении предварительно электронного уведомления о грузе при входящих, исходящих и транзитных отправлениях.

Во-вторых, все страны, присоединяющиеся к Рамочным стандартам, берут на себя обязательство последовательно подходить к вопросам управления рисками с целью решения вопросов безопасности.

В-третьих, Рамочные стандарты требуют, чтобы по обоснованному запросу принимающей страны, основанному на сопоставимой методике отслеживания рисков, таможенная администрация направляющей страны производила досмотр контейнеров и грузов повышенного риска при экспорте, желательно с использованием неинтрузивной аппаратуры обнаружения, такой как крупноформатные рентген-аппараты и детекторы радиации.

В-четвертых, в Рамочных стандартах определяются льготы, которые таможенные службы будут предоставлять компаниям, соблюдающим минимальные стандарты безопасности международной цепи поставок товаров и использующим эффективные методы работы.

Центр по упрощению процедур торговли и электронным деловым операциям (СЕФАКТ ООН) в марте 1979 г. принял **Рекомендацию № 12 «Меры по упрощению процедур, касающихся морских транспортных документов»** (документ TRADE/WP.4/INF.61), в марте 1999 г. на совещании СЕФАКТ ООН были приняты поправки к Рекомендации.

Цель указанной Рекомендации заключается в упрощении, рационализации и унификации процедур и документов, используемых для подтверждения наличия договора морской перевозки.

Следует отметить, что с административной точки зрения, как в плане выполнения таможенных требований, так и в плане валютного контроля, оборотный коносамент и необоротная морская накладная в равной степени позволяют достичь желаемого результата: они обеспечивают идентификацию и контроль участников торговли, товаров и торговой операции.

С тех пор, как была разработана первоначальная Рекомендация № 12, в сфере автоматизированной передачи данных произошла настоящая революция, проявившаяся во все более широком использовании ЭОД (электронного обмена данными). В 1979 г. некоторые грузоотправители имели системы, спроектированные таким образом, чтобы использовать методы АОД для сокращения потока документации благодаря применению компьютеров и содействовать упрощению подготовки транспортных и других смежных документов. Однако в 1990-е гг. ЭОД превратилось в электронную передачу информации о торговых или административных операциях с одного компьютера на

¹ Приказ ГТК РФ (ред. от 26 декабря 2001 г.) «Об утверждении нормативных актов, относящихся к надлежащему оборудованию транспортных средств (контейнеров)» № 426 от 19 августа 1994 г.

² Членами ВТО и соответственно участниками его деятельности являются 166 таможенных администраций, на которые приходится 99 % мировой торговли.

другой с использованием согласованного стандарта для структурирования данных о сделке или данных сообщения. ЭОД отличается более высокой скоростью, эффективностью и точностью по сравнению с системами бумажной документации.

Крупнейшие судоходные компании разработали систему ЭДИШИП, которая позволяет экспортерам передавать в электронной форме информацию, касающуюся фрахтования, погрузочных инструкций, стоимости груза, характера операции, грузоотправителя/грузополучателя, условий сделки и других вопросов, за исключением выдачи соответствующего транспортного документа или составления эквивалентного ему электронного сообщения¹.

В рекомендации подчеркивается, что часть видов информации имеет важное значение также и для портов, независимо от того, один ли перевозчик дает указания, касающиеся выгрузки груза, или же несколько пользователей действуют одинаковым образом. Сегодня уже осуществляется электронный обмен такой информацией между перевозчиками и портами.

Отмечается также, что аналогичным образом таможенные власти, заинтересованные в получении подробной информации об операции, даже если она и не предоставляется непосредственно в традиционном транспортном документе в бумажной форме или «эквивалентном электронном сообщении», в настоящее время все чаще требуют, чтобы такая информация направлялась им в электронной форме. Информация о конкретной операции может быть затем передана другим учреждениям, которые могут проявлять интерес к товарам, например санитарным органам и портовым властям.

Рекомендация предлагает административным органам изучить возможность разработки законодательства, которое позволит заменить документ морской перевозки в бумажной форме эквивалентным электронным сообщением, призванного содействовать упрощению процедур торговли и повышению безопасности (п. 60, 61).

Решение проблем сложных таможенных процедур, чрезмерных требований к документации, отсутствия адекватных учреждений и инфраструктуры, обуславливающих большие задержки и препятствующих осуществлению международной и национальной торговли, возможно с помощью упрощения и согласования нормативных требований, процедур и документов для импорта, экспорта и транзита с международными конвенциями и стандартами, модернизации системы таможенной информации, укрепления сотрудничества между соседними странами на основе согласованных нормативных положений о торговле и создания совместных пограничных постов с учетом положений Международной конвенции ЕЭК о согласовании условий проведения контроля грузов на границе.

Список литературы

1. Международная конвенция об упрощении и гармонизации таможенных процедур от 26 июня 1999 г.: федеральный закон Рос. Федерации № 279-ФЗ от 3 ноября 2010 г. // СЗ РФ. — 2010. — № 45. — Ст. 5744.
2. Международная конвенция о согласовании условий проведения контроля грузов на границах (Женева, 21 октября 1982 г.) // КонсультантПлюс. ВерсияПроф — [Электронный ресурс]. — [М., 2014].
3. Рекомендация № 12/Rev.1 Европейской экономической комиссии ООН «Меры по упрощению процедур, касающихся морских транспортных документов» (ECE/trade/190; trade/WP.4/INF.123) // КонсультантПлюс. ВерсияПроф — [Электронный ресурс]. — [М., 2014].
4. Рекомендация № 13 Европейской экономической комиссии ООН «Упрощение идентифицированных правовых проблем в процедурах импортной таможенной очистки» (TRADE/WP.4/INF.62; TD/B/FAL/INF.62) // КонсультантПлюс. ВерсияПроф — [Электронный ресурс]. — [М., 2014].

¹ См.: “EDISHIP — The Practical Solution”.

5. Рекомендация № 18 Европейской экономической комиссии ООН «Меры по упрощению процедур международной торговли» (ECE/TRADE/141/Rev.1) // КонсультантПлюс. ВерсияПроф — [Электронный ресурс]. — [М., 2014].

6. *Андреева Л. В.* Коммерческое (торговое) право: учебник / Л. В. Андреева. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: КНОРУС, 2012. — 328 с.

7. *Глазунова Н. А.* Новая философия таможенного контроля в соответствии с Киотской конвенцией / Н. А. Глазунова // Промышленник России. — 2006. — № 2.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ю. И. Юдин, доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»
udinui@rambler.ru

А. Б. Грабаровский, аспирант,
ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»
graba38@yandex.ru

С. Н. Холичев, аспирант,
ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»
kholichev.sergey@gmail.com

В. В. Дерябин, кандидат технических наук, доцент,
Архангельский филиал, ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

А. И. Бурмака, аспирант,
Одесская национальная морская академия (Украина)
davydov_mob@mail.ru

К. Л. Обертюр, аспирант,
Одесская национальная морская академия (Украина)

С. Н. Некрасов, доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

К. И. Ефимов, ассистент,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

Д. В. Трененков, аспирант,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

Л. Е. Егоров, аспирант,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»
lev-egorov@mail.ru

М. А. Колегаев, кандидат технических наук, профессор, декан судомеханического факультета,
Одесская национальная морская академия (Украина)
Smf@onma.edu.ua

Д. И. Слободянюк, старший преподаватель,
Одесская национальная морская академия (Украина)
Ioan2012@ukr.net

А. А. Горюк, кандидат технических наук, доцент,
Одесская национальная морская академия (Украина)
Ioan2012@ukr.net

Е. П. Копцева, кандидат экономических наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

А. Н. Лазарев, доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

А. Д. Гофман, доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»
Lmp45@yandex.ru

А. Г. Ташевский, доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»
taarnold@yandex.ru

А. К. Наумова, начальник отдела,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»
ychotdel@zavod-vtuz.ru

В. М. Петров, доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет речного и морского флота имени адмирала С. О. Макарова»
tribotex@narod.ru

С. Н. Безпальчук, инженер,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»
ua1aes@mail.ru

К. А. Васильев, аспирант,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»
kirrrrrill@mail.ru

М. С. Горохов, аспирант,
ФГБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

Б. Д. Кукаленко, доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

С. Г. Чулкин, доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

К. О. Ломтева, аспирант,

ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

Э. Н. Береславский, доктор физико-математических наук, профессор,

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации»

Е. В. Пестерев, аспирант,

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации»

В. А. Стальмаков, аспирант,

ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

А. А. Чертков, кандидат технических наук, доцент,

ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

Д. А. Загредин, аспирант,

ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

Ю. Б. Михайлов, аспирант,

ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

Ю. Я. Зубарев, доктор технических наук, профессор,

ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

Д. С. Ловяников, аспирант,

ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

В. Н. Абрамова, кандидат экономических наук,

ФГБОУ ВПО «Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»

М. В. Ботнарюк, кандидат экономических наук,

ФГБОУ ВПО «Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»

А. В. Галин, кандидат технических наук, доцент кафедры управления транспортными системами,

ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

Т. Е. Маликова, кандидат технических наук, доцент,

ФБОУ ВПО «Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского»

К. А. Аблязов, кандидат технических наук, доцент,

ФГБОУ ВПО «Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»

Г. Л. Козенкова, доцент,
ФГБОУ ВПО «Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»

Э. К. Аблязов, кандидат технических наук, старший преподаватель,
ФГБОУ ВПО «Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»

А. А. Попов, аспирант,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

А. Е. Богданов, кандидат технических наук, главный специалист,
ОАО «Системы управления»
bogdanov@oaosu.ru

А. А. Бырбыткин, аспирант,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

Г. М. Курошева, доктор экономических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

Л. Н. Буянова, доктор экономических наук,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

О. А. Казьмина, кандидат экономических наук,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

Е. С. Палкина, кандидат экономических наук,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

В. Н. Кузнецов, аспирант кафедры комплексного обеспечения информационной безопасности,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

В. О. Тырва, кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

Я. Е. Бразовская, ст. преподаватель факультета морского права,
ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

Научное периодическое издание

Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова

Выпуск 1 (23)

2014 год

Выпускающий редактор *Е. А. Монахова*
Дизайнер *С. В. Курбатов*
Технический редактор *М. Н. Евсюткина*
Набор *О. Ю. Собянина*
Корректор *О. В. Миняева*

Подписано в печать с оригинал-макета 26.02.14. Формат 60х90/8
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 11,25. Тираж 500 экз. Заказ № 30

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