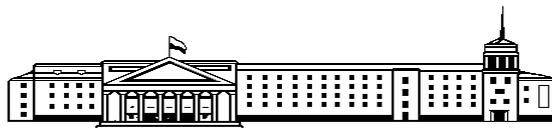


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ВОДНЫХ КОММУНИКАЦИЙ»



ЖУРНАЛ УНИВЕРСИТЕТА ВОДНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Выпуск 2 (14)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Барышников С. О.
(главный редактор)
Решняк В. И.
(ответственный
редактор)
Гладков Г. Л.
Гарибин П. А.
Колосов М. А.
Безюков О. К.
Иванченко А. А.
Веселков В. В.
Сикарев А. А.
Пантина Т. А.
Буянова Л. Н.

Скобелева И. П.
Каратаев О. Г.
Курошева Г. М.
Голоскоков Д. П.
Нырков А. П.
Зубрилов С. П.
Лиходей О. А.
Ушакова Г. В.
Некрасов С. Н.
Климов Е. Н.
Посашкова С. Е.
(ответственный
секретарь)

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2012

ББК 95
я5

Журнал университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2012. — 247 с. (Вып. 2).

ISSN 2073-6169

Журнал является научно-образовательным периодическим изданием, зарегистрированным Федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия (Свидетельство о регистрации средства массовой информации от 22 февраля 2008 г. ПИ № ФС77-312188).

В Журнале публикуются:

- результаты диссертационных работ, теоретических и экспериментальных исследований по направлениям научной деятельности отраслевых вузов и научно-исследовательских институтов;
- статьи методологического и методического характера по актуальным проблемам развития отечественного и зарубежного водного транспорта;
- обзорные материалы научных конференций, семинаров, совещаний по проблемам развития водного транспорта;
- материалы в области повышения эффективности образовательного процесса вуза;
- сообщения и статьи к юбилейным датам и знаменательным событиям университета и его ведущих ученых.

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

ББК 95

ISSN 2073-6169



© Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций, 2012

ISSN 2073-6169

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

1. *ИСАЕВА Анна Андреевна* — заместитель директора
Департамента международного сотрудничества
Минтранса России, кандидат экономических наук,
доцент.
 2. *ГУСМА Станислав* — ректор Морского университета
(Щецин, Польша), доктор наук, профессор.
 3. *ЕГОРОВ Геннадий Вячеславович* — генеральный директор
ЗАО «Морское инженерное бюро — СПб», доктор
технических наук, профессор.
 4. *КАРМАЗИНОВ Феликс Владимирович* — доктор технических
наук, профессор, лауреат Государственной премии
России, почетный гражданин Санкт-Петербурга.
 5. *ЮСУПОВ Рафаэль Мидхатович* — директор Санкт-
Петербургского института информатики и автоматизации
РАН, доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки
и техники РФ.
 6. *СМИРНОВ Николай Григорьевич* — вице-президент
Ассоциации судоходных компаний, кандидат
технических наук.
-
-



Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций

**объявляет прием в аспирантуру
на 2012/13 учебный год
по очной и заочной формам обучения
по специальностям:**

03.02.08	Экология
05.02.04	Трение и износ в машинах
05.05.04	Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины
05.08.01	Теория корабля и строительная механика
05.08.04	Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства
05.08.05	Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)
05.09.03	Электротехнические комплексы и системы
05.13.06	Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (транспорт)
05.13.18	Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ
05.22.17	Водные пути сообщения и гидрография
05.22.19	Эксплуатация водного транспорта, судовождение
05.23.07	Гидротехническое строительство
05.25.05	Информационные системы и процессы
07.00.09	Историография, источниковедение и методы исторического исследования
08.00.05	Экономика и управление народным хозяйством (экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами; управление инновациями)
08.00.12	Бухгалтерский учет, статистика
09.00.03	История философии
13.00.08	Теория и методика профессионального образования
24.00.01	Теория и история культуры
25.00.36	Геоэкология

Документы, представляемые при поступлении в аспирантуру:

- Заявление о приеме в аспирантуру (подается на имя ректора СПГУВК);
- личный листок по учету кадров;
- 2 фотографии;
- копия диплома о высшем образовании с приложением к нему (диплом специалиста или магистра);
- список опубликованных научных работ или реферат;
- автобиография;
- удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов (при наличии у поступающих сданных кандидатских экзаменов)

Поступающие в аспирантуру сдают вступительные экзамены в соответствии с Государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования:

- ✓ специальную дисциплину;
- ✓ философию;
- ✓ иностранный язык

**Прием документов осуществляется
с 1 июня по 5 июля и с 20 августа по 5 сентября 2012 г.**

Вступительные экзамены с 12 сентября 2012 г.

**Документы направлять по адресу:
198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7.
Тел. (812) 251-62-29; местный 351. Каб. 261.**

СОДЕРЖАНИЕ

ВОДНЫЕ ПУТИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И ПОРТЫ	8
<i>Васин А. В., Тимофеева О. А.</i> Определение линии раздела областей с потенциальным и вихревым течениями	8
<i>Глуценко А. В., Моргунов К. П.</i> Методический подход к расчету прочности узлов трубопровода на основе математического моделирования	13
<i>Нычик Т. Ю.</i> Оценка риска аварии в результате навала судна на ворота шлюза	18
<i>Пахоменкова Т. Ю.</i> Разуплотнение грунтов основания шпунтовых стенок при волновом воздействии	23
<i>Кузьмицкий М. Л., Голицын В. А.</i> Отказы, повреждения и дефекты гидроприводов ворот и затворов судоходных гидротехнических сооружений	29
<i>Ганеев А. М.</i> Определение размеров и взаимного расположения элементов системы наполнения камер судоходных шлюзов из-под плоских подъемно-опускных ворот	34
ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА	41
<i>Безюков О. К., Ганин Н. Б., Комаров П. А.</i> Метод выявления усталостных трещин в деталях судовых ДВС при отсутствии сведений об их местонахождении	41
<i>Ежов Ю. Е., Погодаев Л. И., Кузьмин А. А.</i> Влияние состава смазочных композиций на топографию поверхностей трения сопряженных деталей	47
<i>Саушев А. В.</i> Отображение статических и динамических свойств электротехнических систем полиномиальными функциями	54
<i>Чистяков А. Ю., Горелик Г. Б.</i> Учет разрывов сплошности в системе высокого давления при моделировании рабочих процессов дизельной топливной аппаратуры на частичных режимах	63
<i>Равин А. А., Шишкин В. А.</i> Моделирование экспериментальных исследований судового центробежного насоса как объекта диагностики	72
<i>Андрианов Е. Н., Иванов А. Н.</i> Актуальные вопросы конструирования и расчета механизмов изменения вылета стрелы порталных кранов	81
<i>Гаврилов В. В., Мащенко В. Ю.</i> Математическое моделирование топливоподачи и локальных внутрицилиндровых процессов в дизеле с объемным смесеобразованием с использованием программы CyberDiesel	92
<i>Боран-Кешишьян А. Л., Хекерт Е. В.</i> Надежность эргатических составляющих морских тренажерно-обучающих систем	99
СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ	103
<i>Приходько В. М., Ивлев М. Л., Приходько И. В.</i> Прогнозирование электропотребления судоремонтным предприятием	103
<i>Егоров Г. В.</i> Российское речное судостроение в XXI в.	109
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	120
<i>Чертовской В. Д.</i> Системное описание процессов адаптивного автоматизированного управления	120
<i>Барцевский Г. Е.</i> Синтез планов вычислительного эксперимента четвертого порядка для судовых автоматизированных систем	128
<i>Вихров Н. М., Гаскаров В. Д., Шнуренко А. А.</i> Защита корпоративных данных предприятий водного транспорта в открытых информационных системах	133

СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ	141
<i>Голубцов Д. А., Тихоненко А. М.</i> Анализ влияния взаимных помех в автоматизированных и идентификационных системах	141
<i>Францев М. Э.</i> Проектное обоснование рационального обеспечения характеристик вместимости и обитаемости судов из композитов	147
<i>Зайцев А. И., Рудых С. В., Сикарев А. А.</i> Перспективы внедрения автоматизированной системы управления движением маломерного флота на морских акваториях (На примере Черноморского побережья России)	156
<i>Некрасов С. Н., Андреев Ю. Г.</i> Оценка навигационных рисков при проектировании Новoadмиралтейского моста	163
ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	168
<i>Отделкин Н. С., Слюсарев А. С., Турукалов Ф. Е.</i> Применение гидроэжектеров для снижения пылеобразования при перегрузке сыпучих грузов навалом	168
<i>Решняк В. И., Посайкова С. Е.</i> Обеззараживание сточной воды	177
ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ	183
<i>Бабурин В. А., Минеев С. К., Бабурина К. Р.</i> Оптимизация параметров морского транспортного узла	183
<i>Шихова И. О.</i> Финансирование услуг технологической связи на внутреннем водном транспорте	191
<i>Булов А. А., Воронцова Д. Р.</i> Российский и европейский рынки водных перевозок в условиях членства Российской Федерации в ВТО	194
<i>Иванова М. Б.</i> Формирование стратегических альтернатив и выбор генеральной стратегии развития транспортно-экспедиторской компании	198
<i>Поваров Г. В., Чуркина М. В.</i> Проблемы развития инфраструктуры северо-западной зоны Единой глубоководной системы	207
<i>Никифоров В. Г., Федорова М. М.</i> Особенности применения энтропийного подхода при планировании открытия новых транспортных маршрутов	211
<i>Палкина Е. С.</i> Использование современных аналитических инструментов стратегического управления на транспорте для реализации стратегии роста	214
<i>Олейников А. С.</i> Основные пути управления инновациями и конфликтами интересов в транспортном комплексе России	226
<i>Костин В. И., Косыгин А. Б.</i> О некоторых факторах, влияющих на национальную безопасность России	231
ИСТОРИЯ НАУКИ	240
<i>Сухотерин М. В.</i> Научная школа прикладной математики и механики в СПГУВК	240

ВОДНЫЕ ПУТИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И ПОРТЫ

УДК 519.6

А. В. Васин,
канд. физ.-мат. наук, доцент,
СПГУВК;

О. А. Тимофеева,
стажер-аспирант,
СПГУВК

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНИИ РАЗДЕЛА ОБЛАСТЕЙ С ПОТЕНЦИАЛЬНЫМ И ВИХРЕВЫМ ТЕЧЕНИЯМИ

DETERMINATION OF LINE SEPARATING THE REGIONS WITH THE POTENTIAL AND VORTEX FLOW

В рамках модели Лаврентьева и Шабата об отрывных течениях численно моделируется зона завихренности при течении идеальной жидкости в прямоугольной камере с выступом. Работа необходима как эталонный образец для моделирования вихревых течений в обводных галереях шлюзовых камер.

In the Lavrentiev–Shabat framework of separated flows a vorticity zone in the flow of an ideal fluid in a rectangular chamber with a ledge is simulated numerically. Work is needed as a reference model for simulation of vortex flows in the bypass galleries of lock chambers.

Ключевые слова: идеальный поток жидкости, течения с постоянной завихренностью, гармонические функции, задача Дирихле.

Key words: ideal fluid flow, fluid with constant vorticity, harmonic functions, Dirichlet problem.

1. Моделирование

В данной работе рассматривается модель Лаврентьева и Шабата [1] плоского (плоскопараллельного) течения идеальной жидкости в прямоугольной камере с выступом.

В предлагаемой модели движение распадается на два независимых движения: 1) в области D_1 , ограниченной стенками камеры, линиями входа и выхода потока, и струей γ , срывающейся с

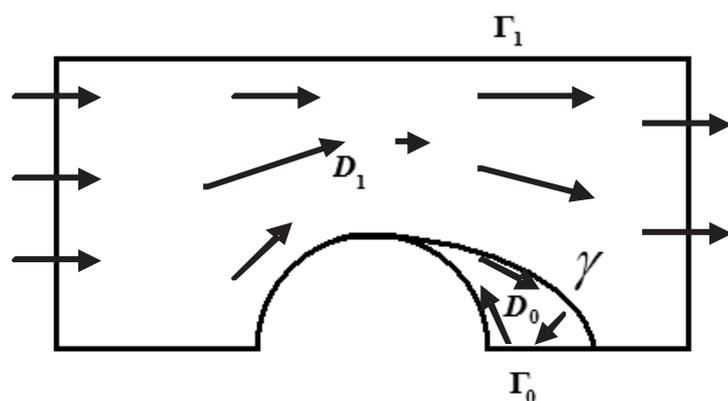


Рис. 1. Общий вид камеры с выступом и движение жидкости

верхнего края выступа; 2) в области D_0 , дополняющей D_1 до всей камеры. Течение в D_1 предполагается потенциальным, а в D_0 — вихревым с постоянной завихренностью $-\omega$, $\omega > 0$. Кривая γ не задается, ее надо подобрать так, чтобы она была линией тока и чтобы поле скоростей оставалось непрерывным всюду в камере. Таким образом, в этой схеме установившегося движения мы отказываемся от условия отсутствия вихрей, предполагая, что вихри располагаются во всех точках области D_0 . Тогда вместо обычных уравнений, приводящих к

условию аналитичности, для координат вектора скорости V_x и V_y получим следующие уравнения в области D_0

$$\frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{\partial V_x}{\partial y} = \omega, \quad \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

и

$$\frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{\partial V_x}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

в области D_1 соответственно. В этом случае движение жидкости не потенциально, тем не менее для решения задач обтекания, как и в классическом случае, вводится функция тока, для дифференциала которой выполняется $d\psi = -V_y dx + V_x dy$, в силу вторых уравнений это выражение является точным дифференциалом. Линии тока также определяются как линии, где $\psi(x, y) = \text{const}$. Задача сводится к решению уравнения Пуассона с разрывной правой частью

$$\Delta\psi = \begin{cases} 0, & z \in D_1 \\ \omega, & z \in D_0 \end{cases} \quad (3)$$

с заданными граничными условиями на стенках, а также на входе и выходе из камеры. Стандартными рассуждениями приходим к выводу, что на нижней стенке камеры, в том числе и на выступе, можно считать, что функция тока равна нулю, а на верхней стенке — расходу жидкости, на входе и выходе функция тока изменяется непрерывно, чаще глалким образом, то есть заданы граничные условия ψ_0 . Кроме того, имеем дополнительные условия: $\psi|_\gamma = 0$, так как кривая γ является линией тока. Таким образом, получаем постановку известной задачи Гольдштика [2]:

$$\Delta\psi = \begin{cases} 0, & \psi(z) > 0 \\ \omega, & \psi(z) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

с граничными условиями $\psi|_\Gamma = \psi_0$, $0 \leq \psi_0 \leq 1$. Алгоритм решения уравнения Пуассона известен для стандартных областей, где, в частности, имеются явные выражения для оператора Грина через функцию Грина — в полуплоскости, моделирующие течения бесконечно глубокого течения с плоским дном. При использовании схемы склеивания течений с различными завихренностями в реальных водопроводных галереях мы вынуждены конструктивно строить оператор Грина, а по сути численно решать граничные интегральные уравнения. В работе И. Вайнштейна [3, с. 320–331], Д. Потапова [4, с. 262–266] доказано, что задача Гольдштика (4) имеет нетривиальное решение (с непустой областью завихренности) при достаточно больших величинах завихренности $\omega > 4e/R^2$, где R — радиус наибольшего круга, который можно вписать в область камеры. Метод доказательства заключается в исправлении границы раздела и состоит в следующем. Определим функцию

$$\psi_1 = \psi_0 - \frac{\omega}{2\pi} \int_{D_0} G(, z) dA(z), \quad (5)$$

где G — функция Грина задачи Дирихле для области D , а интегрирование совершается по площади. В области D_0 функция ψ_1 удовлетворяет уравнению Пуассона, а в области D_1 гармонична, кроме того функция ψ_1 непрерывно дифференцируема, удовлетворяет граничным условиям, но на линии раздела областей D_0 и D_1 не обязана обращаться в нуль. Найдем ту линию уровня функции ψ_1 , где она обращается в нуль. Эта линия уровня ограничивает некоторую область D_1 . Далее итеративно определим последовательность функций

$$\psi_n = \psi_0 - \frac{\omega}{2\pi} \int_{D_n} G(, z) dA(z), \quad (6)$$

Последовательность функции ψ_n сходится, как доказано в [3], к непрерывно дифференцируемой функции ψ , а последовательность областей D_n сходится к области D , для которых выполняются условия задачи Гольдштика.

2. Алгоритм решения

1. Как уже говорилось для областей общего вида проблематично определение явного вида функции Грина. Поэтому рассмотрим объемный потенциал (в нашем случае потенциал площади)

$$\psi_1 = \frac{1}{2\pi} \iint_{D_0} \ln \left((x-\eta)^2 + (y-\xi)^2 \right) d\eta d\xi, \quad (7)$$

тогда гладкая функция ψ_1 является решением уравнения Пуассона всюду в камере (в объединении областей $D \cup D_0$). Для нее выполняется

$$\Delta\psi_1 = \begin{cases} 0, & z \in D_1 \\ 1, & z \in D_0 \end{cases}. \quad (8)$$

Естественно нет соблюдения граничных условий.

2. Для построения потенциала Грина надо удовлетворить нулевым граничным условиям, то есть решить задачу Дирихле: $\Delta\psi_2 = 0$ в области $D = D_0 \cup D$ с граничными условиями $\Delta\psi_2 = -\psi_1|_{\Gamma}$. Решение задачи Дирихле ищем в виде потенциала двойного слоя:

$$\psi_2 = \frac{1}{2\pi} \int \frac{\partial}{\partial n} \ln \frac{1}{|z-\zeta|} v d\zeta \quad (9)$$

с неизвестной плотностью v , для нахождения которой составляем сингулярное граничное интегральное уравнение:

$$-\psi_1|_{\Gamma} = -\frac{1}{2}v + \frac{1}{2\pi} \int \frac{\partial}{\partial n} \ln \frac{1}{|z-\zeta|} v d\zeta \quad (10)$$

относительно неизвестной плотности v , а затем восстанавливаем гармоническую функцию ψ_2 не только на границе. Полагаем $\psi_3 = \psi_1 + \psi_2$ и получаем решение уравнения Пуассона с нулевыми граничными условиями. Умножая последнюю функцию на величину завихренности, получим решение уравнения Пуассона с заданной величиной завихренности

$$\Delta\omega\psi_3 = \begin{cases} 0, & z \in D_1 \\ \omega, & z \in D_0 \end{cases}. \quad (11)$$

3. Теперь требуется найти гармоническую функцию $\Delta\psi_4 = 0$ в области $D = D_0 \cup D_1$ с заданными изначально граничными значениями ψ_0 . Это делается аналогично п. 2 с использованием граничных интегральных уравнений. Искомое решение представляется в виде суммы $\psi = \omega\psi_3 + \psi_4$. Такой двухэтапный поиск решения по граничным условиям необходим, чтобы была возможность корректировать величину завихренности, так как решение задачи Дирихле по заданным граничным условиям не зависит от завихренности, а решение уравнения Пуассона с нулевыми граничными условиями зависит от завихренности линейно.

Несколько замечаний по поводу численного решения задачи Дирихле, которые решаем многократно. Разобьем границу Γ на n граничных элементов $\Gamma = \bigcup_{i=1}^n S_i$, $S_i = \{z_i, z_{i+1}\}$.

В каждом из узлов z_i сингулярное уравнение (10) дискретизируется и записывается в виде

$$\psi_i = -\frac{1}{2}v_i + \frac{1}{2\pi} \sum_{k \neq i} v_k \frac{(x-x_k)(y_{k+1}-y_k) - (y-y_k)(x_{k+1}-x_k)}{(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2} \quad (12)$$

относительно неизвестных плотностей v_i . Полученная линейная система уравнения решается в математическом пакете Maple. После этого решение задачи Дирихле вычисляем в виде потенциала двойного слоя, который в дискретном виде получаем как следующую сумму:

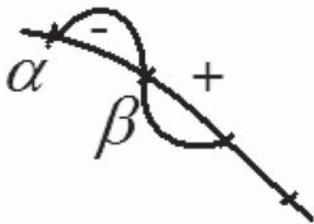
$$\psi(x, y) = -\frac{v_i}{2\pi} \arccos \left(\frac{((x_i - x)^2 + (y_i - y)^2) + ((x_{i+2} - x)^2 + (y_{i+2} - y)^2) - ((x_{i+2} - x_i)^2 + (y_{i+2} - y_i)^2)}{2\sqrt{((x_i - x)^2 + (y_i - y)^2)}\sqrt{((x_{i+2} - x)^2 + (y_{i+2} - y)^2)}} \right) + \frac{1}{2\pi} \sum_{k \neq i} v_k \frac{(x - x_k)(y_{k+1} - y_k) - (y - y_k)(x_{k+1} - x_k)}{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2} \quad (13)$$

Коэффициент при v_i в первом слагаемом представляет собой угол, под которым точка (x, y) видна из отрезка S_i . Эту формулу надо применять для точек (x, y) , близких к участку границы S_i .

Относительно потенциала двойного слоя вычисление сводится к подобным формулам, но без составления и решения системы линейных уравнений.

$$\psi(x, y) = \sum_j \frac{\omega}{2\pi} \int_{x_j}^{x_{j+1}} \int_{\frac{y_j + y_{j+1}}{2}}^{\frac{y_j + y_{j+1}}{2}} \ln((x - \eta)^2 + (y - \xi)^2) d\eta d\xi \quad (14)$$

4. На линии γ раздела вихревого и потенциального течений функция ψ должна обращаться в нуль, поэтому на этом шаге будем корректировать и границу, и величину завихренности. Вначале подберем новую завихренность ω таким образом, чтобы $\psi = \omega\psi_3 + \psi_4 = \omega(\psi_1 + \psi_2) + \psi_4$ как можно меньше отличалось от нуля на кривой γ (возможны варианты: в среднем или использовать максимальное отклонение). То есть требуется найти линию нулевого уровня, что по теореме Вайнштейна даст нам нужную сходимость к области завихренности. После выбора завихренности приступаем к исправлению кривой γ . Для этого разбиваем кривую γ на участки. Если на участке $\alpha\beta$ функция ψ положительна, то уменьшаем область D_0 на участке $\alpha\beta$ при помощи малой дуги, если меньше 0, то увеличиваем область D_0 при помощи малой дуги на участке $\alpha\beta$.



Наилучший результат получается при следующем итеративном процессе для ординат линии раздела вихревых и потенциальных течений

$$y_{n+1} = y_n - \frac{\psi}{1 - \psi} K, \quad (15)$$

Рис. 2. Исправление кривой где K — расстояние от кривой γ до верхней стенки камеры.

3. Результаты вычислений

На следующих рисунках приведены итерации построения областей завихренности при различных значениях функции тока на входе и выходе. Количество узлов на γ равно 100, общее количество узлов на границе камеры равно 500. Поскольку кривая γ должна быть линией нулевого уровня функции тока, то критерием остановки служит равенство нулю с точностью $\epsilon = 0,02$ функции тока на этой кривой. На всех рисунках $\psi = 0$ на нижней стенке камеры и $\psi = 1$ (расходу жидкости) на верхней стенке.

На первых четырех рисунках функция тока на входе и выходе меняется линейно. Это соответствует тому, что горизонтальные скорости на входе и выходе постоянны.

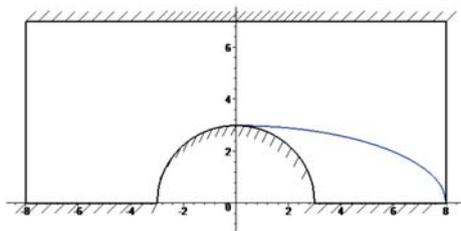


Рис. 3. Итерация № 1, $\omega = 1$

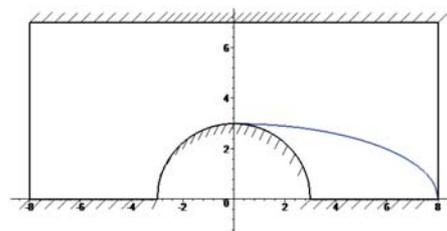


Рис. 4. Итерация № 2, $\omega = 0,130282$

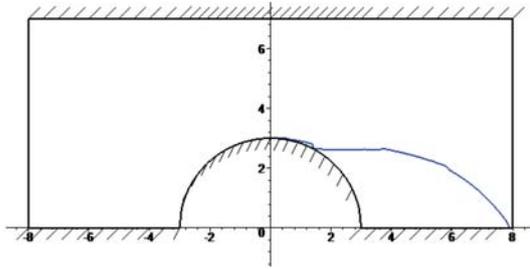


Рис. 5. Итерация № 3, $\omega = 0,130282$

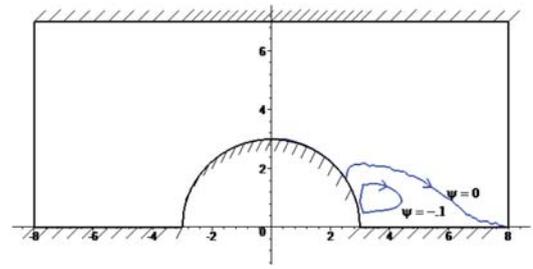


Рис. 6. Итерация № 15, $\omega = 0,130282$

На рис. 6–9 те же условия на стенках камеры, а на входе и выходе функция тока меняется по закону $\psi = y^2 / 49$. Это соответствует тому, что горизонтальные скорости на входе и выходе вблизи верхней стенки больше, чем вблизи нижней стенки. Область завихрения расширилась.

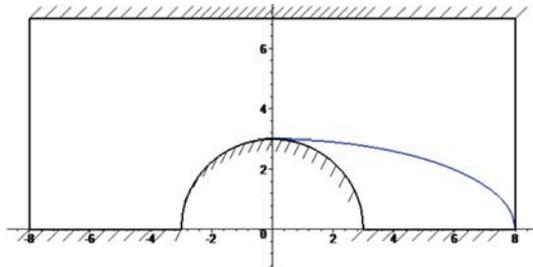


Рис. 7. Итерация № 1, $\omega = 1$

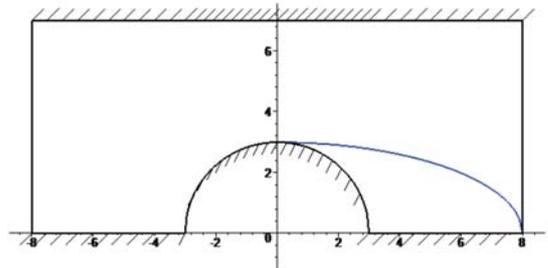


Рис. 8. Итерация № 2, $\omega = 0,102616$

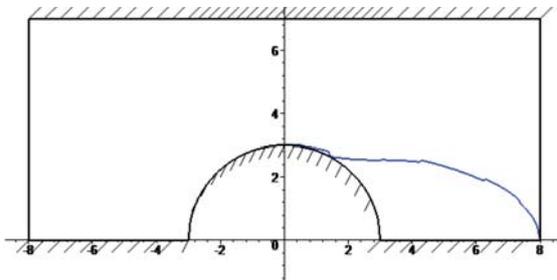


Рис. 9. Итерация № 3, $\omega = 0,102616$

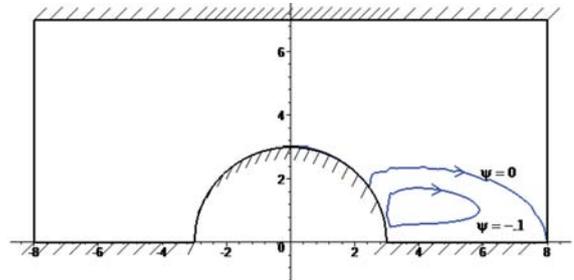


Рис. 10. Итерация № 11, $\omega = 0,102616$

На последней группе рисунков значение функции $\psi = \sqrt{y/7}$ на входе и выходе, что соответствует большим горизонтальным скоростям на нижней стенке. В результате получаем меньшую область завихрения по сравнению с линейным случаем.

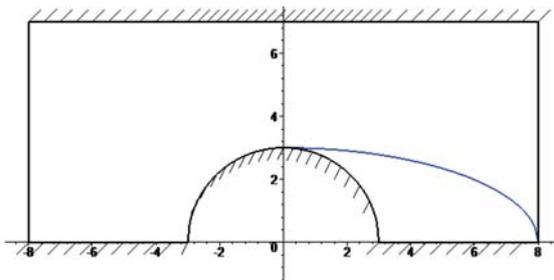


Рис. 11. Итерация № 1, $\omega = 1$

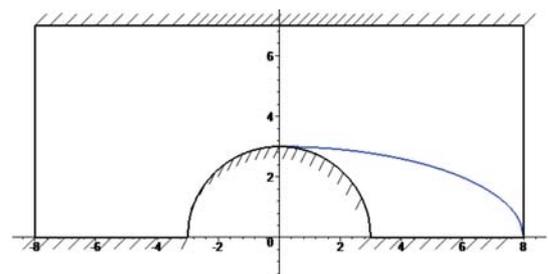
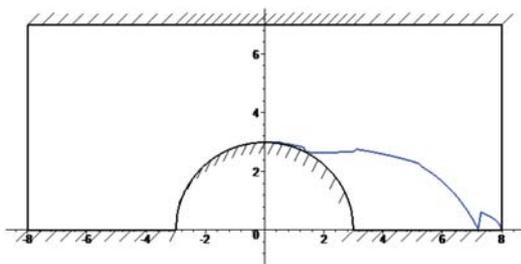
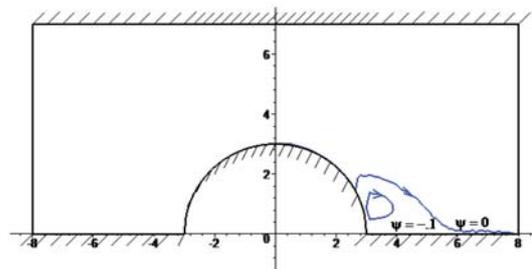


Рис. 12. Итерация № 2, $\omega = 0,156773$

Рис. 13. Итерация № 3, $\omega = 0,156773$ Рис. 14. Итерация № 17, $\omega = 0,156773$

Список литературы

1. Лаврентьев М. А. Проблемы гидродинамики и их математические модели / М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат. — М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977.
2. Гольдштик М. А. Вихревые потоки / М. А. Гольдштик. — Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1981.
3. Вайнштейн И. И. Решение двух дуальных задач о склейке вихревых и потенциальных течений вариационным методом М. А. Гольдштика / И. И. Вайнштейн // Математика и физика: журн. Сиб. федер. ун-та. — 2011. — № 4 (3).
4. Потапов Д. К. Непрерывные аппроксимации задачи Гольдштика / Д. К. Потапов // Математические заметки. — 2010. — Вып. 2, т. 87.

УДК 517.1 (075.8)

А. В. Глущенко,
ЗАО «КТПИ Газпроект»,

К. П. Моргунов,
канд. техн. наук, доцент,
СПГУВК

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ ПРОЧНОСТИ УЗЛОВ ТРУБОПРОВОДА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

THE METHODOICAL APPROACH TO CALCULATION OF DURABILITY OF THE PIPELINE UNITS ON THE BASIS OF MATHEMATICAL MODELLING

В статье изложена методика применения пакета ANSYS в комплексе со специально написанной на языке Visual basic программной оболочкой для проведения расчета прочности узлов трубопровода. Преимущество оболочки заключается в том, что она исключает необходимость работать с макрокомандами языка ANSYS, которые довольно неудобны. Кроме того, предложенная методика позволяет сократить машинное время, требуемое для проведения расчетов

The technique of application of package ANSYS in a complex with specially written on Visual basic language a program environment for carrying out calculation of durability of elements of the pipeline is stated. Advantage of an environment is that it excludes a necessity to work from macros of ANSYS language which are inconvenient enough. Besides the offered technique allows to reduce the time required for carrying out calculations.

Ключевые слова: математическое моделирование, программная оболочка, элементы трубопровода, механические нагрузки, прочность.

Key words: mathematical modeling, a program environment, elements of the pipeline, mechanical loadings, durability.

В АЖНЕЙШИЕ эксплуатационные характеристики участков трубопроводов — износостойкость, прочность, коррозионная стойкость, герметичность — в значительной мере зависят от достоверности расчетов, выполняемых на стадии проектирования. Выбор конструкции проектируемых элементов представляет собой весьма сложную задачу, так как требуется проведение оценок достигаемых параметров эксплуатационных свойств.

В этих условиях существенно увеличилось значение расчетно-теоретического анализа характеристик таких конструкций. Прорыв в современной вычислительной (компьютерной) технике обеспечил материальную базу для становления и быстрого развития математического моделирования, появились реальные предпосылки для использования математических моделей не только в качестве расчетно-теоретического сопровождения на стадии отработки конструктивных решений, но и при проектировании, подборе и оптимизации эксплуатационных режимов, анализе надежности и прогнозировании отказов и аварийных ситуаций, а также при оценке возможностей форсирования характеристик и модернизации технического устройства.

Математическое моделирование и вычислительный эксперимент с использованием ЭВМ стали составными частями общих подходов, характерных для современных информационных технологий и разработки систем автоматизированного проектирования. Принципиально важно, что математическое моделирование, применяемое при создании различных систем автоматизированного проектирования, позволяет объединять формальное и неформальное мышление и сочетать возможности ЭВМ со свойствами человеческого интеллекта (интуиция, ассоциации и пр.). Это обусловлено в том числе и тем, что современные средства отображения информации позволяют работать с ЭВМ в диалоговом режиме — анализировать альтернативы, проверять предположения, рассматривать несколько различных математических моделей, визуализировать результаты.

В настоящее время для моделирования сложных физических многодисциплинарных процессов, протекающих в различных технических объектах, прибегают к помощи вычислительных программных комплексов — коммерческих пакетов (Fluent, ANSYS, CFX) или аналогичных продуктов с открытым кодом (OpenFoam). Их использование открывает возможность проведения многофакторного численного эксперимента для плоских или трехмерных моделей объектов с учетом взаимовлияния протекающих физических процессов. К недостаткам работы с указанными программными комплексами можно отнести сложность и трудоемкость создания виртуальных моделей, а также значительное время, необходимое для проведения вычислений.

В предлагаемой работе представлена методика расчета прочности элементов и узлов трубопровода. Разработанная компьютерная модель реализована с использованием программ, написанных на языке Visual basic и программного комплекса на базе ANSYS. Методика позволяет проводить расчет на устойчивость к механическим нагрузкам различных конструктивных элементов.

Особенностью методики является то, что оболочка написана на языке Visual basic и позволяет сформировать текстовый файл, воспринимаемый ANSYS, то есть собрать файл из макрокоманд языка ANSYS. Интерфейс программной оболочки приведен на рис. 1. Оболочка формирует текстовый файл под конкретную геометрию; для каждого элемента трубопровода (например, тройник, линзовый компенсатор, гнутый отвод и т. п.) есть своя оболочка (см. рис. 2–4).

Далее из оболочки запускается сам расчетный комплекс ANSYS, который, используя сформированный файл, выполняет следующие операции:

Ввод исходных данных

$D, м$	<input type="text" value="0.325"/>	Ввод
$S, м$	<input type="text" value="0.013"/>	Формирование файлов для расчета (твердое тело)
$L1, м$	<input type="text" value="1.50"/>	
$L2, м$	<input type="text" value="1.50"/>	Формирование файлов для расчета (оболочка)
$\alpha, град$	<input type="text" value="45"/>	
$R, м$	<input type="text" value="0.700"/>	Просмотр сформированного файла
$P, МПа$	<input type="text" value="2"/>	
$E, ГПа$	<input type="text" value="200e+9"/>	
размер элемента	<input type="text" value="0"/>	Вызов ANSYS

Рис. 1. Интерфейс программы

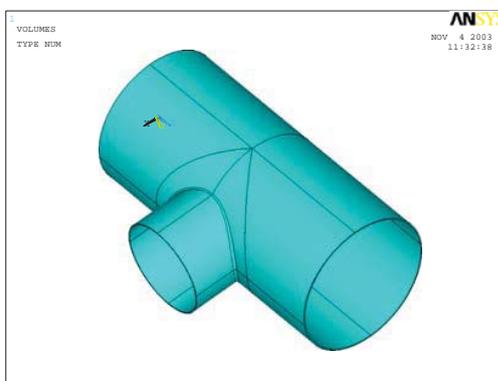


Рис. 2. Геометрия тройникового соединения

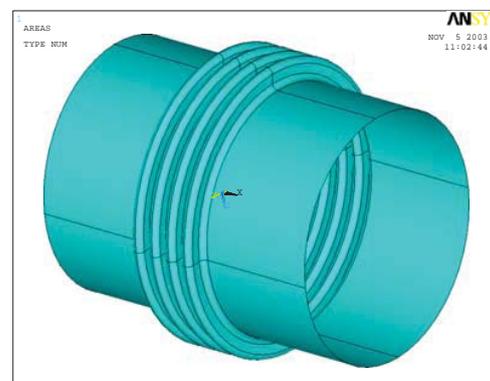


Рис. 3. Геометрия линзового компенсатора

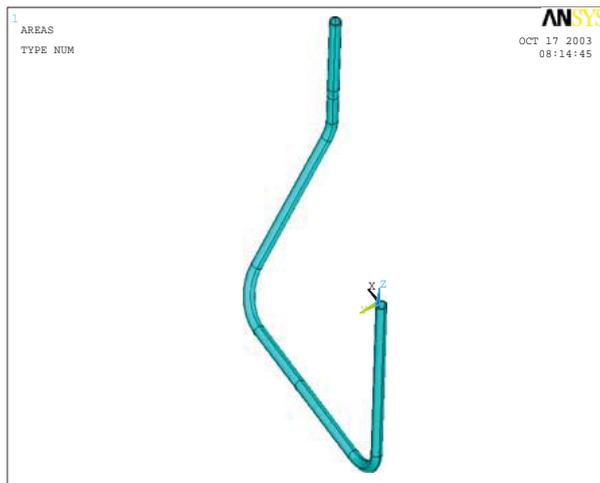


Рис. 4. Геометрия гнутого отвода

- отстраивает нужную геометрию (параметры которой заданы через оболочку);
- выполняет разбиение на конечные элементы (см. рис. 5–7);
- прикладывает заданные нагрузки;
- выполняет расчет (рис. 8);
- выводит результаты расчета.



Рис. 5. Разбиение тройникового соединения

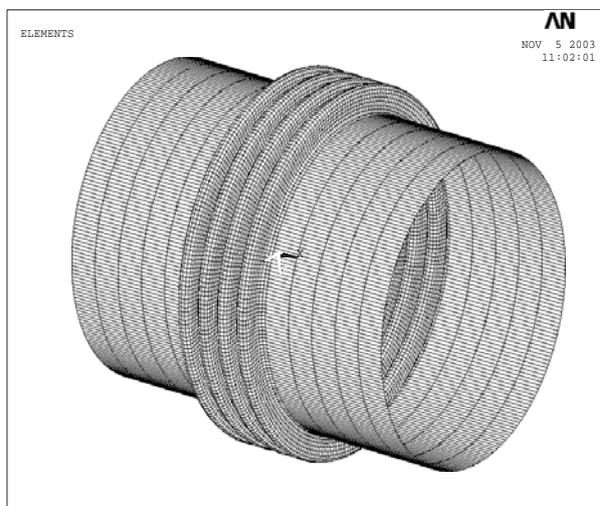


Рис. 6. Разбиение линзового компенсатора

Преимущество оболочки заключается в том, что она позволяет значительно уменьшить трудоемкость расчетов. Пользователю нет необходимости работать с макрокомандами языка ANSYS, которые довольно неудобны. Ею может воспользоваться человек, который не разбирается в тонкостях построения геометрии, особенностях формирования конечноэлементной модели и порядке выполнения расчета в среде ANSYS. При использовании оболочки нужно лишь задать исходные данные (геометрия и усилия, полученные, например, из расчета трубопровода по стержневой модели), все остальное выполняется в автоматическом режиме. А результаты расчета представляются в графических и текстовых файлах, и именно они являются конечной целью.

Применение пакета ANSYS в комплексе со специально написанной программной оболочкой позволяет также значительно сократить время, необходимое для проведения расчетов.

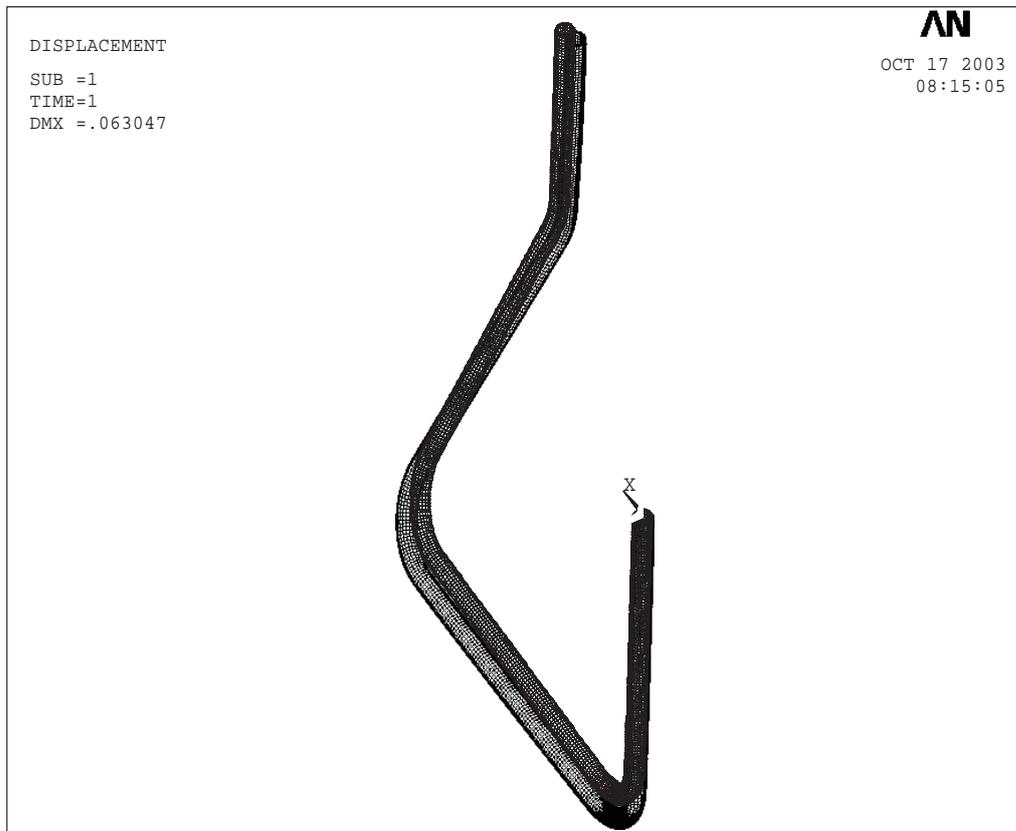


Рис. 7. Разбиение гнутого отвода

Пример выполненных расчетов механических напряжений тройникового соединения показан на рис. 8.

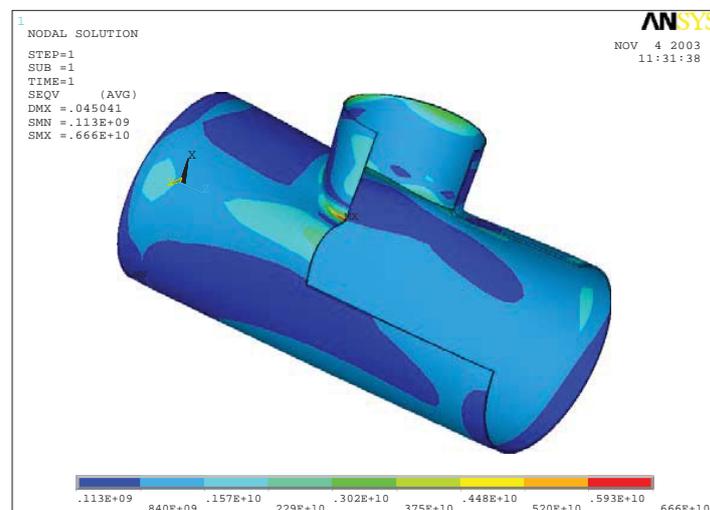


Рис. 8. Пример визуализации результатов расчета механических напряжений тройникового соединения

Список литературы

1. Visual Basic 6.0. Сер. «Мастер» / пер. с англ. Microsoft Visual Basic 6.0 Programmer's Guide, Microsoft Press, 1998. — СПб.: BHV-Санкт-Петербург, 1998. — 992 с.
2. Чигарев А. В. ANSYS для инженеров: справ. пособие / А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. — М.: Машиностроение, 2004. — 510 с.
3. Самарский А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. — М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит. изд-ва, 1977. — 656 с.

УДК 626.4

Т. Ю. Нычик,
аспирант,
СПГУВКОЦЕНКА РИСКА АВАРИИ В РЕЗУЛЬТАТЕ НАВАЛА СУДНА
НА ВОРОТА ШЛЮЗАDEFINING THE RISK OF ACCIDENT AS A RESULT OF SHIP IMPACT
ON LOCK GATE

Существуют такие явления, результат которых предугадать нельзя. В этих случаях интересующий нас исход опыта зависит от такого большого числа факторов, что почти невозможно зарегистрировать и учесть все эти факторы. В данной статье рассматривается применение вероятностных методов в определении риска аварии на ворота шлюзов в результате навала, с целью дальнейшего создания математической модели измерения числа аварий на предстоящую навигацию.

There are phenomena the result of which is impossible to predict. In this case the result of experiment depends on so many factors that it is almost impossible to register and take into account all these factors. This article considers the application of probabilistic approach for determining the risk of an accident at the gate lock due to impact for creation of a mathematical model for calculation of accidents for coming navigation.

Ключевые слова: вероятностные методы в инженерных задачах; риск аварии; априорная вероятность; вероятность навала судна; предстоящая навигация.

Key words: probabilistic methods in engineering problems, risk of accident, a priori probability, vessel impact, forthcoming navigation.

Р АССМАТРИВАЯ вполне конкретную ситуацию возникновения аварии в шлюзе, представлялось возможным из множества случайных факторов, влияющих на возникновение аварийного происшествия в шлюзе, выделить несколько закономерных, от которых зависит интересующий нас исход опыта — шлюзования [3, с. 25–31; 4, с. 21–25]. Деление явлений на закономерные и случайные относительно. Строго говоря, в природе не существует явления, в котором не проявились бы в той или иной мере элементы случайности. Как бы точно ни фиксировались условия опыта, достигнуть их в полной неизменности практически невозможно, а это дает исходу опыта при заданных условиях элемент неопределенности. В силу этого закономерное явление при более глубоком рассмотрении всегда оказывается случайным [2].

Поскольку объектом исследования является гидротехническое сооружение (ГТС), то одной из основных его эксплуатационных характеристик является вероятность потери работоспособности ГТС или, иными словами, вероятность разрушения ГТС или отдельных его составных

элементов (конструкций). Если говорить в предметной области, вероятность повреждения ворот шлюзов (ВПВШ) или, иначе, вероятность аварийной ситуации.

В процесс формализации описания безопасности судоходного шлюза входит определение всех групп факторов, влияющих на нарушение функционирования ГТС. То есть необходимо представить структурную модель ГТС (используя системный подход) и перечень всех влияющих параметров в каждой структурной единице. Отсюда очевидно, что вероятность работоспособного состояния шлюза — $P_{\text{шл}}$ зависит от следующих факторов:

$$P_{\text{шл}}(t) = P_{\text{сш}}(t); P_{\text{опш}}(t); P_{\text{суд}}(t); P_{\text{опс}}(t), \quad (1)$$

где $P_{\text{сш}}(t)$ — безопасность работы системы «шлюз» (гидротехнические конструкции + оборудование);

$P_{\text{опш}}(t)$ — безопасность работы оператора шлюза (начальник вахты);

$P_{\text{суд}}(t)$ — безопасность работы системы «судно» (двигатель, движитель, ДАУ);

$P_{\text{опс}}(t)$ — безопасность работы оператора судна (судоводитель).

Теоретически перспективным является вероятностный подход к оценке безопасности ГТС. Однако при таком подходе трудно учесть влияние качественных факторов, нередко играющих основную роль при оценке безопасности эксплуатируемых (в особенности «старых») ГТС [1].

Вероятность отказа существует у каждого технического объекта (нет объектов с нулевой вероятностью отказа), и она существует до начала текущей эксплуатации. Назовем ее априорной вероятностью отказа объекта.

При эксплуатации такого сложного технического сооружения, как ГТС, всегда существует множество внутренних и внешних факторов, которые ухудшают работоспособность сооружения и повышают риск эксплуатации судоходного канала.

Поскольку шлюзованные каналы (ШК) эксплуатируются в течение продолжительного времени и в каждую навигацию насчитывается несколько сот тысяч проходов судов, можно говорить о соответствующей статистической информации об отказах (авариях) на ГТС по тем или иным причинам.

Через шлюзованные каналы проходят различного типа плавающие средства: от судов (пассажирских, грузовых от 5000 т и меньше) до плотов, то вероятность аварийной ситуации при прохождении через шлюз различного типа судов и плавсредств различна. Естественно, вероятность аварийной ситуации каждым типом судна будет создаваться своя. При эксплуатации ГТС необходимо оценить общую вероятность появления аварийной ситуации (отказа элементов ГТС) от прохождения шлюзованного канала всеми типами судов. Эту вероятность можно вычислить с помощью формулы полной вероятности.

Пусть требуется определить вероятность некоторого события (например, вероятность навала) A , которое может произойти вместе с одним из событий:

$$H_1, H_2, \dots, H_N,$$

образующих полную группу несовместимых событий (например, H_1 — прохождение ГТС пяти-тысячником, H_2 — двухтысячником, H_3 — пассажирским судном и т. д.). Назовем эти события гипотезами, а навал — случайной величиной.

Доказано, что в этом случае [2]:

$$Q(A) = \sum_{i=1}^n Q(H_i) \cdot Q(A/H_i), \quad (2)$$

где $Q(H_i)$ — вероятность гипотезы (или вероятность прохождения ГТС i -м типом судов), $Q(A/H_i)$ — условная вероятность события A при гипотезе H_i , то есть вероятность поступления аварийной ситуации при прохождении ГТС i -м типом судов.

Величины $Q(H_i)$, $Q(A/H_i)$ вычисляются из статистических данных.

При комбинаторном подходе к вычислению вероятности $Q(H_i)$ равна:

$$Q(H_i) = \frac{m}{n}, \quad (3)$$

где m — число i -го типа судов прошедших за навигацию через ГТС; n — общее число судов. Например, пятитысячники шлюзовались 20 000 раз, при этом общее число шлюзований составило 210 000, тогда $Q(H_i) = 0,095$. Если аварийные ситуации пятитысячниками создавались $\eta = 8$ раз, тогда $Q(A/H_i) = \frac{\eta}{m} = 0,0004$. Таким образом, одно из слагаемых в (2) равно $Q(H_i)Q(A/H_i) = 0,095 \cdot 0,0004 = 0,000038$ — это вероятность аварии за счет прохождения ГТС только одним пятитысячником. Аналогично вычисляются и другие слагаемые, просуммировав которые определим общую вероятность отказа (аварийной ситуации) для всех ГТС в системе шлюзованных каналов.

Если статистические данные будут определены для отдельного шлюза, участка канала (совокупность шлюзов), пароходства и тому подобного, то вероятность аварийной ситуации можно вычислить для каждого подразделения.

Таким образом, априорная вероятность работоспособного состояния ГТС равна [2]:

$$P_{aN} = 1 - Q(A) = 1 - \sum_{i=1}^n Q(H_i) \cdot Q(A/H_i). \quad (4)$$

Очевидно, что вероятность аварии в результате навала судна на ворота шлюза, полученная по формуле (2), учитывает только интенсивность судопропуска на рассматриваемом участке шлюзованного пути, что, по сути, противоречит выводам в [3; 4], в которых говорится о том, что вероятность навала судна на ворота шлюза зависит как от конструктивных и компоновочных решений шлюзов, так и от человеческого фактора. Из всех факторов, влияющих на возникновение риска, единственным неконтролируемым является человеческий фактор. Это означает, что отразить его влияние на результирующую величину риска аварии не представляется возможным. Следовательно, конечная, рекомендуемая формула для подсчета вероятности аварии в результате навала судна на ворота шлюза должна включать поправочный коэффициент, устанавливающий степень возможности возникновения аварийной ситуации, исходя из соотношения габаритов шлюзуемого судна и камеры шлюза. То есть зависимость для вычисления вероятности аварии при навале судна на ворота шлюза можно представить в следующем виде:

$$P_A = k \times \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{\text{общ.}}} \times \frac{A_i}{C_i}, \quad (5)$$

где k — коэффициент, учитывающий соотношение размеров камеры шлюза и размеров шлюзуемого судна;

C_i — количество пропущенных судов i -го типа;

$C_{\text{общ.}}$ — общее количество пропущенных судов;

A_i — число аварий на шлюзе, инициированное i -м типом судна.

Для определения коэффициента, учитывающего соотношение размеров камеры шлюза и размеров шлюзуемого судна, воспользуемся некоторой статистикой об аварийных происшествиях и количестве судопропусков [3], приведенных в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1

Происшествия в судоходных шлюзах по ГБУВПиС России за 1985–1993 гг.

Наименование ГБУВПиС	Годы	Число происшествий в шлюзе		
		Нижняя голова	Верхняя голова	Камера шлюза
Канал им. Москвы	1985–1998	59	28	33
Волго-Балтийское	1985–1997	21	18	10
Волго-Донское	1985–1997	34	13	3
Волжское	1985–1996	19	11	6
Камское	1985–1997	13	—	7
Беломорско-Онежское	1986–1993	14	1	14
Итого		160	71	70

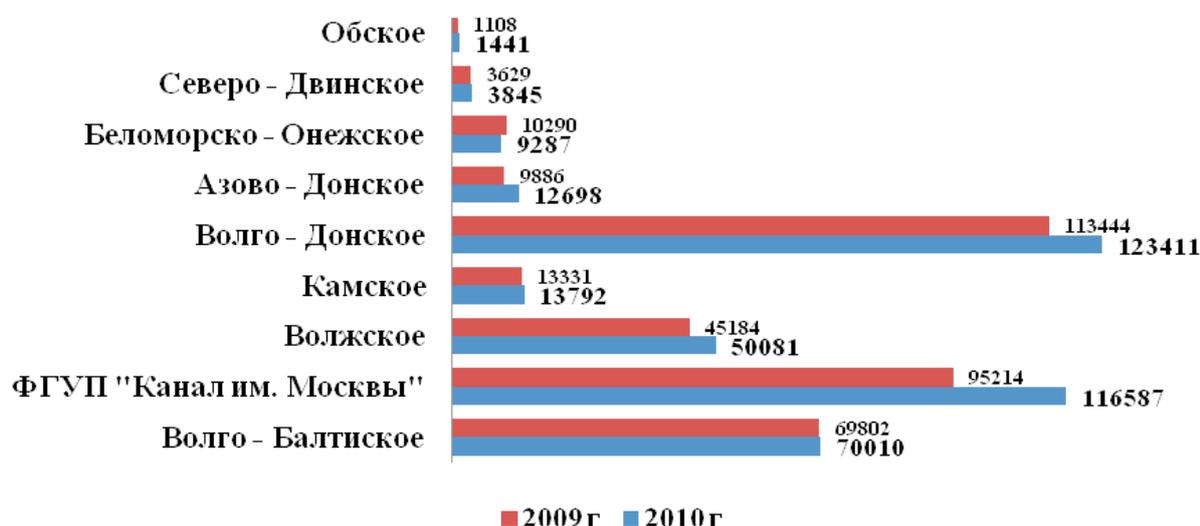


Рис. 1. Данные о судопропуске по ГБУВПиС по состоянию на 21.11.2010 г.

Обработав данные табл. 1, можно получить среднее количество аварийных происшествий в навигацию по крупнейшим ГБУВПиС России. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Вероятность возникновения аварии для некоторых судоходных путей России

Наименование ГБУВПиС	Среднее число аварийных происшествий в навигацию, ед.	Количество судопропусков по ГБУВПиС за 2009 г.	Вероятность возникновения аварии в шлюзе
Канал им. Москвы	9,0	95 214	0,000095
Волго-Балтийское	4,0	69 802	0,000057
Волго-Донское	4,0	113 444	0,000035
Волжское	3,0	45 184	0,000066
Камское	2,0	13 331	0,000150
Беломорско-Онежское	4,0	10 290	0,000400

Поскольку соотношение размеров камеры шлюза с соответствующими размерами шлюзуемого судна, так называемое безопасное расстояние по длине и ширине, оказывает значительное воздействие на наличие или отсутствие аварийного происшествия в шлюзе, то логично предположить, что чем больше эти запасы, тем меньше вероятность возникновения аварии и, следовательно, тем ближе к единице значения коэффициента k .

На основании вышеизложенного для повышения точности определения риска аварии в зависимости (5) вводится коэффициент значимости соотношения размеров камеры шлюза с размерами шлюзуемого судна k . В основу вывода коэффициента положено сопоставление вероятностей возникновения аварий (табл. 2) с интенсивностью судопропуска и размерами камер шлюзов по рассматриваемым ГБУВПиС. В табл. 3 приведены значения коэффициента k для некоторых ГБУВ-ПиС соответственно.

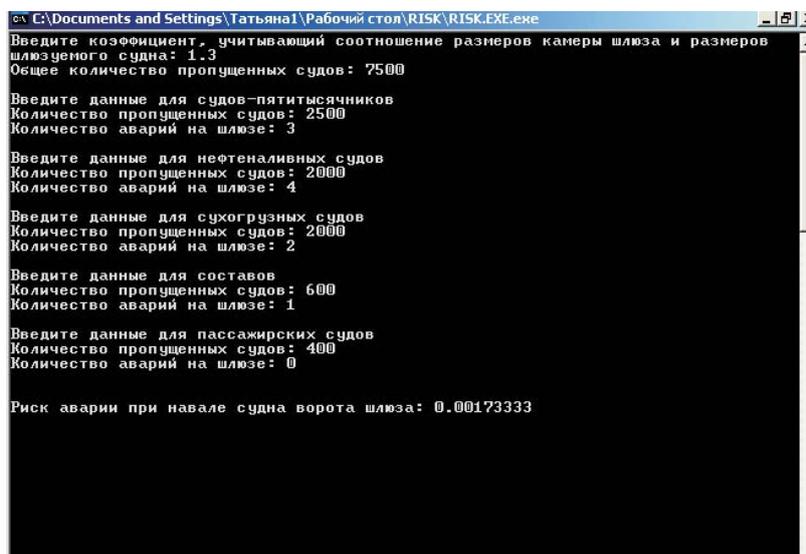
Таблица 3

Значения коэффициента значимости соотношения размеров камеры шлюза и размеров шлюзуемого судна для некоторых ГБУВПиС РФ

ГБУВПиС	Значение коэффициента k
Беломорско-Онежское	1,30
Волго-Донское	1,00
Камское	0,80
Волго-Балтийское	0,70
Канал им. Москвы	0,65
Волжское	0,65

С целью автоматизации расчета вероятности аварии для судоходных шлюзов автором была разработана программа RISK.EXE, написанная на языке программирования C++. Программа проста в использовании. Для того чтобы получить значение вероятности в RISK.EXE, необходимо следовать следующему алгоритму:

1) ввести значение коэффициента k , соответствующее рассматриваемому судоходному пути;



2) ввести общее число судопропусков через исследуемый шлюз.

Далее выполнить следующий алгоритм ввода для основных типов шлюзуемых судов (суда-пятитысячники, нефтеналивные суда, сухогрузные суда, составы, пассажирские суда):

3) ввести количество пропущенных судов i -го типа через шлюз в навигацию;

4) ввести количество аварий, инициированных i -м типом судна (рис. 2).

Таким образом, для того чтобы определить значение ве-

Рис. 2. Рабочее окно программы RISK.EXE для расчета рисков аварий в судоходных шлюзах

роятности аварии на навигацию для судоходного канала в целом, необходимо владеть следующей базой статистических данных по исследуемому шлюзу (шлюзованному каналу):

- 1) общее число пропущенных судов в навигацию;
- 2) количество судов i -го типа, пропущенных в навигацию;
- 3) количество аварий, инициированных судами i -го типа;
- 4) размеры камеры шлюза, для определения коэффициента значимости соотношения размеров камеры шлюза и шлюзуемого судна — k .

Просуммировав вероятности возникновения аварий по каждому шлюзу, входящему в состав водного пути, получим соответственно вероятность возникновения аварии на исследуемом водном пути.

Следовательно, определение априорной вероятности работоспособного состояния для объекта будет выглядеть так:

$$P_{aN} = 1 - P_A = 1 - k \times \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{\text{общ}}} \times \frac{A}{C_i}. \quad (6)$$

Список литературы

1. СТП ВНИИГ 210.02.НТ-04: метод. указ. по проведению анализа риска аварий гидротехнических сооружений. — СПб., 2005.
2. Лебедев А. Н. Вероятностные методы в инженерных задачах / А. Н. Лебедев. — СПб., 2000.
3. Нычик Т. Ю. Анализ аварийных ситуаций при шлюзовании судов / Т. Ю. Нычик // Журнал университета водных коммуникаций. — СПб., 2011. — Вып. 4.
4. Нычик Т. Ю. Декларирование безопасности судоходных шлюзов / Т. Ю. Нычик // Материалы II межвуз. науч.-практ. конф. студ. и асп. СПГУВК. — СПб., 2011.

УДК 627.2

Т. Ю. Пахоменкова,
аспирант,
СПГУВК

РАЗУПЛОТНЕНИЕ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ ШПУНТОВЫХ СТЕНОК ПРИ ВОЛНОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

DECOMPACTION OF SOILS OF SHEET PILE WALLS FOUNDATION WITH WAVE ACTION

Статья посвящена вопросу устойчивости шпунтовых стенок в период строительства, в частности проблеме разуплотнения грунтов основания при колебаниях сооружений, вызванных циклическим волновым воздействием.

Article is devoted to the stability of sheet pile wall during construction, in particular the problem of soil decompaction of base structures with fluctuations due to cyclic wave action.

Ключевые слова: гидротехническое строительство, устойчивость сооружений, разуплотнение грунтов.

Key words: hydraulic engineering, sustainability of structures, soil decompaction.

В СВЯЗИ с развитием и модернизацией портовой техники (изменением габаритов, мощности, веса), а также с увеличением водоизмещения судов в настоящее время является актуальной проблема повышения общей устойчивости возводимых причальных конструкций.

Конструкции в виде тонких вертикальных стенок широко применяются в гидротехническом строительстве, особенно в тех случаях, когда в основании сооружения залегают грунты, допускающие погружение свай на требуемую глубину [2; 4]. Основными достоинствами, способствующими повсеместному распространению таких конструкций, являются: экономичность, технологичность и надежность в эксплуатации. На открытой акватории преимущественно применяют шпунтовые конструкции. Основными конструкциями являются больверки (тонкие подпорные стенки), которые выполняют из шпунтовых свай или свай специальных профилей.

По конструктивному признаку эти сооружения разделяют на заанкерованные и незаанкерованные стенки.

Вопросы обеспечения устойчивости свайных конструкций, расположенных на протяженных акваториях со сложным волновым режимом, обусловлены комплексом факторов. К ним относятся: процесс стабилизации грунтов, воздействие водного потока от судовых винтов, изменение нагрузок от портовых механизмов, процесс разуплотнения грунтов основания и др.

Рассмотрим особенности процесса разуплотнения грунтов при колебаниях сооружений, вызванных циклическим волновым воздействием.

Особую опасность представляет строительный период, когда шпунтовый ряд погружен в грунт, но еще не установлены анкерные тяги. При этом свехнормативная деформация шпунтовых стен требует сложных работ по восстановлению и приводит к дополнительным экономическим затратам.

Погружение свай в грунт, осуществляют с помощью вибропогружателей различных конструкций. В процессе погружения грунты подвергаются длительному вибрационному воздействию, что негативно влияет на их свойства. В частности, происходит разжижение мелких сыпучих грунтов, значительное уменьшение сцепления и угла внутреннего трения. Характеристики грунтов со временем восстанавливаются.

Строительные свойства грунтов зависят от их минерального состава, размера, формы, количества частиц различной крупности, а также от особенностей расположения их в скелете. При расчетах устойчивости сооружений и оснований чаще всего используют такие характеристики грунта, как плотность ρ , кН/м³, удельное сцепление c , кПа, угол внутреннего трения ϕ , град [1; 5].

Опыт использования однорядных шпунтовых стен показал, что при значительных волновых нагрузках в условиях слабых грунтов основания необходимо уделить особое внимание устойчивости с учетом параметров ветровых волн, а также гранулометрическому составу грунта.

В период производства работ на протяженных акваториях, не защищенных от волнового влияния, волна, воздействуя на стенку, создает изгибающий момент, вызывающий деформации на свободном, незашемленном конце стенки (см. рис. 1). Гребень волны сменяется ложбиной, и стенка отклоняется в обратном направлении. При этом у основания сваи образуется воронка размыва. Слабые несвязные грунты с малыми значениями неразмывающих скоростей вымываются из полости образованной циклическим действием волны, относятся волной и оседают вне зоны погружения сваи.

В результате длительного волнового воздействия отклонения стенки увеличиваются, увеличивая тем самым воронку размыва. Этот процесс приводит к возникновению процесса выноса грунта основания и образованию глубокой пазухи вдоль сваи [3.]

Образование воронки может привести к нарушению устойчивости вертикальных стен и, как следствие, к обрушению сооружения.

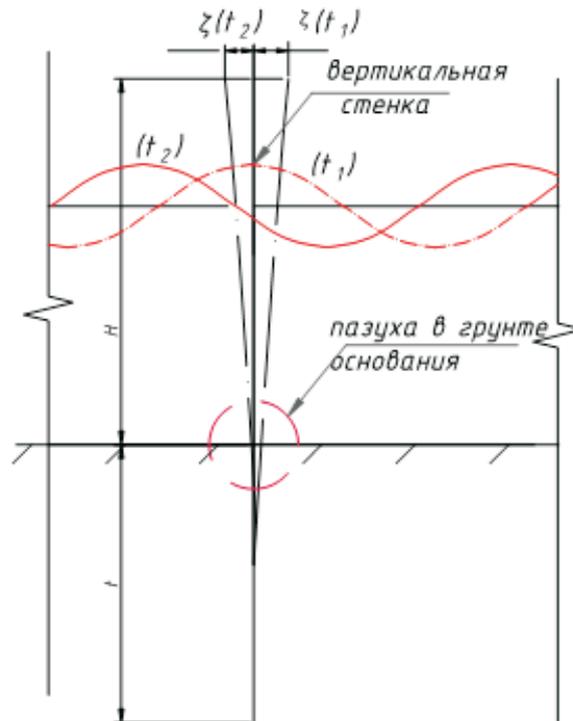


Рис. 1. Деформация шпунтовой стенки при воздействии волн

При погружении в грунт незаанкерованная стенка работает как консольная балка, нижний конец которой защемлен в грунте. До тех пор пока стенка не нагружена, она испытывает с обеих сторон одинаковое давление, равное естественному давлению в грунтовом массиве.

При приложении нагрузки (горизонтальной силы P) стенка изогнется и будет стремиться повернуться вокруг неподвижной точки перегиба эпюры C . Давление грунта на участки стенки, испытывающие перемещение, изменится: с той стороны, куда направлены перемещения, оно возрастет, с противоположной — уменьшится. Схема показана на рис. 2.

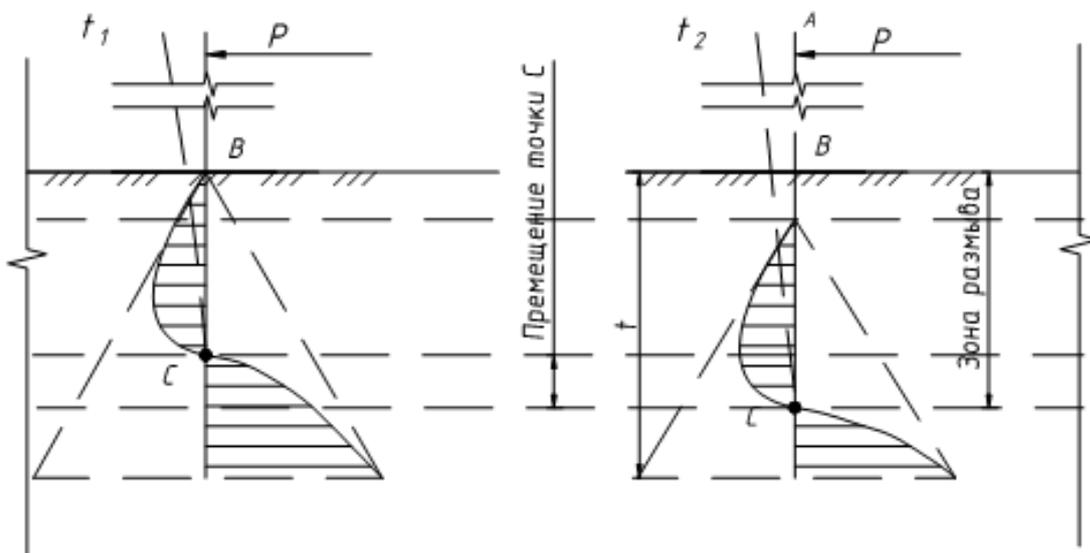


Рис. 2. Влияние волнового воздействия на эпюру бокового давления грунта

В условиях предельного равновесия на участках стенки с максимальными перемещениями наибольшее давление грунта будет равно пассивному давлению, а наименьшее со стороны обратной направлению перемещения — активному давлению. Таким образом, предельная интенсивность сопротивления грунта внешнему давлению в каждой точке равна разности интенсивностей пассивного и активного давлений грунта $e_{np} = \rho \cdot g \cdot y \cdot (\lambda_n - \lambda_a)$ [2].

Учитывая размыв грунтов основания, получим, что точка перегиба эпюры будет перемещаться вглубь. В конечном итоге ордината этой точки достигнет значения, равного глубине забивки. При этом произойдет потеря устойчивости шпунтовой стенки.

Известны практические примеры негативного влияния циклических волновых нагрузок на шпунтовые конструкции. В частности, на одном из строящихся портовых сооружений произошла подобная ситуация с потерей устойчивости стенки. Сооружение, находящееся на этапе строительства, представляло собой одиночный ряд шпунтовых свай, в дальнейшем планировалась его анкеровка. Использовался шпунт корытного профиля типа Ларсен 607п.

После 10 часов волнового воздействия при высоте волны $h = 2,5$ м, периоде $T = 3-4$ с, было выявлено, что в результате потери устойчивости произошло существенное отклонение фактического положения шпунтового ряда от проектного (до 5 м) в сторону акватории, а также образовалась значительная пазуха грунта основания за лицевой стенкой акватории. Данные по гранулометрическому составу представлены в табл. 1.

Для оценки процессов, происходящих у основания шпунтовой стенки, необходимо определить скорости выноса частиц грунта и соотнести их значения со значениями неразмывающих скоростей (скорости определяются по данным гранулометрического состава) и значениями гидравлической крупности. Для этого задаемся начальными значениями размера пазухи и средними волновыми параметрами, а также температурным режимом для оценки гидравлической крупности.

Рассмотрим данные, полученные в результате наблюдений за объектом. На рис. 3 представлен геологический разрез, в табл. 1–2 — характеристики грунтов основания.

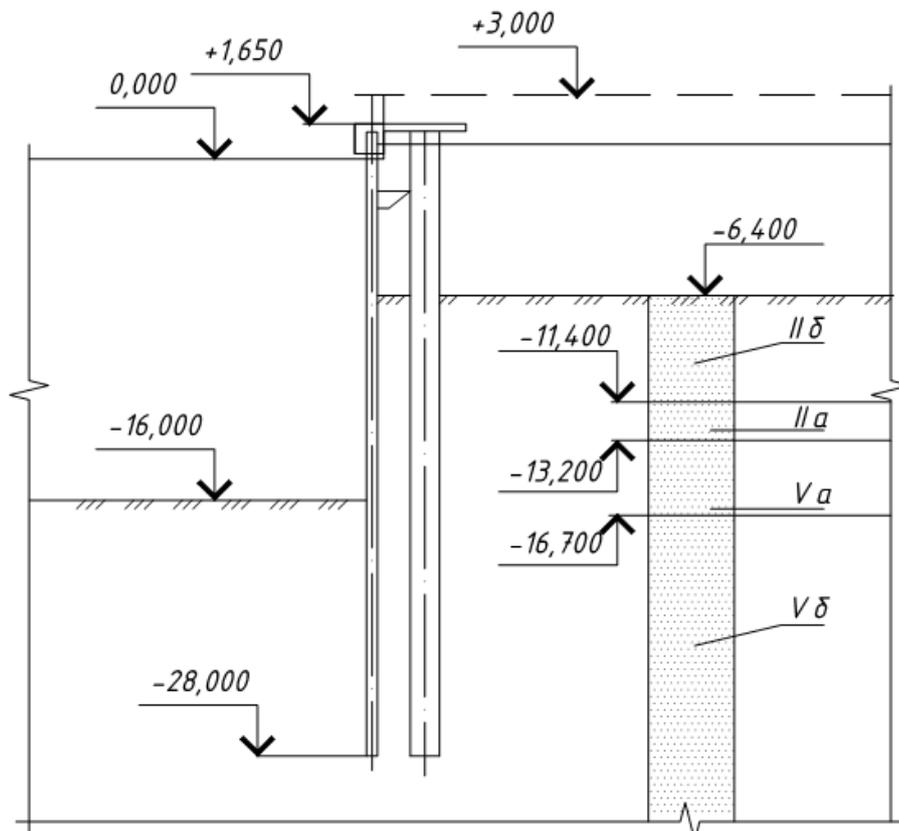


Рис. 3. Геологический разрез

Таблица 1

Физико-механические характеристики грунтов

Номер слоя на чертеже	Описание грунта	Плотность, кН/м ³	Угол внутреннего трения, град.	Сцепление, кПа	Модуль деформации, кг/см ²
		γ	φ	C	E_p
IIa	Песок пылеватый средней плотности	17	24	1,0	110
IIб	Песок крупный средней плотности	18	34	0	300
Va	Песок пылеватый плотный	17	27	3,0	200
Vб	Песок пылеватый средней плотности	18	34	1,0	350

Таблица 2

Гранулометрический состав содержание фракций (в %), диаметр (в мм)

Номер слоя на чертеже	Глубина, м (номер образца)	гравий		Песок				Пыль			Глина менее 0,005
		5–10	2–5	1–2	0,5–1	0,25–0,5	0,1–0,25	0,05–0,1	0,01–0,05	0,05–0,01	
IIa	11,7–12 (№ 5)	0	5	15	21	19	28	8	4	0	0
IIб	8,5–8,7 (№ 3)	0	5	1	9	44	35	5	1	0	0
Va	15,6–15,9 (№ 6)	1	5	10	17	21	28	8	5	4	1
Vб	20,8–21,1 (№ 7)	0	2	7	22	26	24	10	7	2	0

Из табл. 2 следует, что весь грунтовый массив имеет мелкие фракции песка (1–0,25 мм) 70–80 %, а 8–10 % относятся к пылеватым частицам. Формирующей основой массива являются мелкие фракции со значительным объемом пылеватых частиц, которые обладают малыми значениями размывающих скоростей, а следовательно, легко выносятся из массива.

Из таблицы гранулометрического состава можно сделать вывод о размывающих скоростях для смешанных несвязных грунтов, а также проанализировать значения гидравлической крупности (данные приведены в табл. 3) [1].

Таблица 3

Значения размывающих скоростей и гидравлической крупности

Размер зерен однородного грунта d , мм	Размывающая средняя скорость, v_n , м/с	Гидравлическая крупность, w_0 , м/с, при температуре воды 9–12 °С
0,05	0,35	0,00125
0,25	0,50	0,02135
1,00	0,60	0,08540

Исходя из совокупности данных, можно получить приблизительное представление о виде воронки размыва, образовавшейся в результате формирования временного подводного откоса, вид которого показан на рис. 4. На рис. 5 показано фактическое положение «воронки» полученное на основании водолазного обследования.

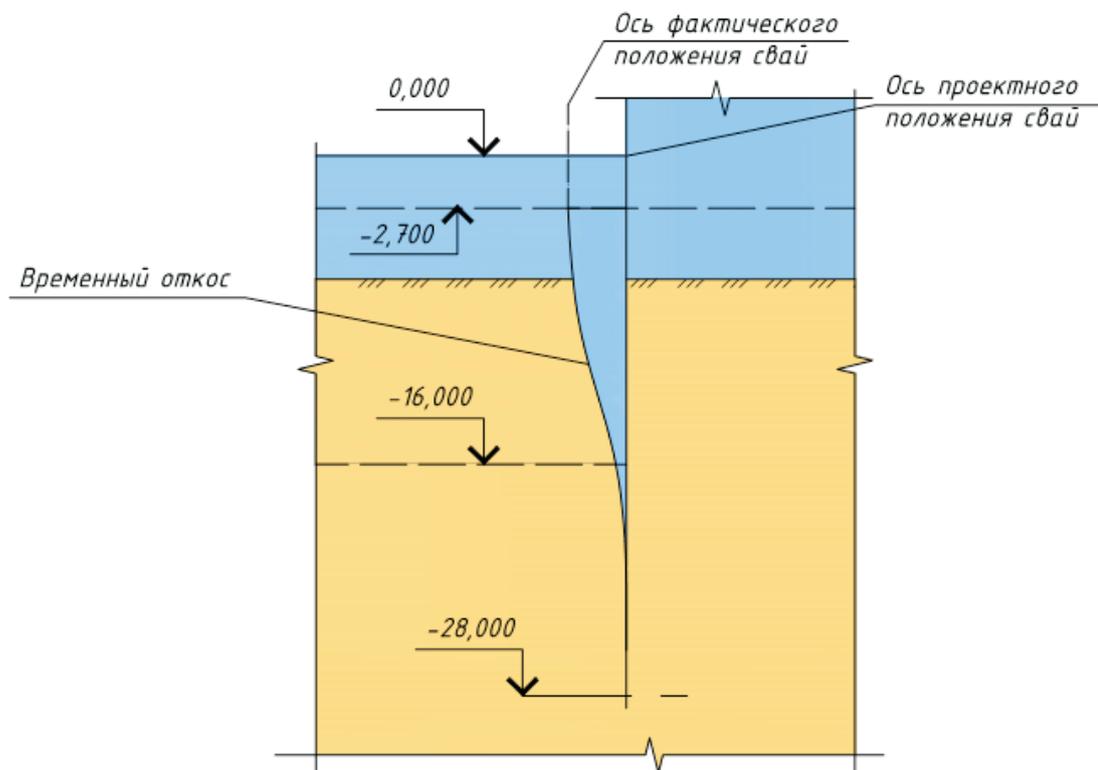


Рис. 4. Формирование временного подводного откоса

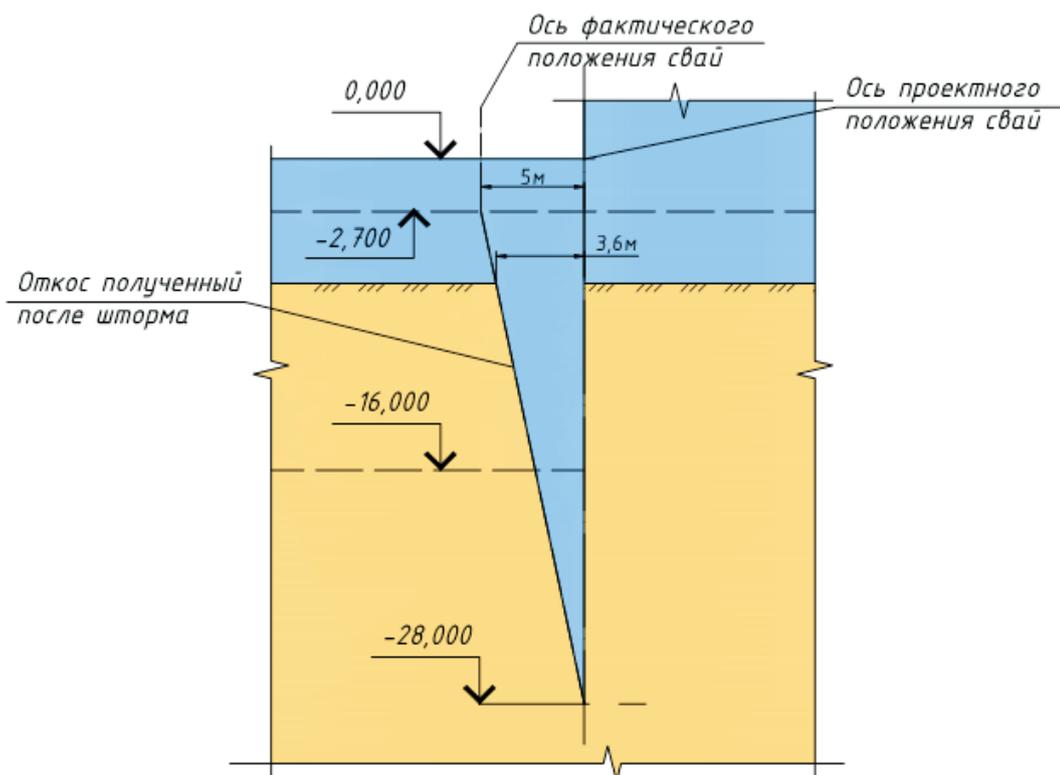


Рис. 5. Окончательное положение откоса

Представленный случай потери устойчивости стенки не является единичным. Все известные случаи разрушения свайных сооружений, возведенных на мелкопесчаных слабых грунтах, показывают на необходимость дополнительного изучения вопроса взаимодействия слабых оснований со свайными сооружениями.

Список литературы

1. Гончаров В. Н. Движение наносов / В. Н. Гончаров. — М.: ОНТИ, Гл. ред. строит. лит., 1938. — 110 с.
2. Гуревич В. Б. Речные портовые гидротехнические сооружения / В. Б. Гуревич. — М.: Транспорт, 1988. — 415 с.
3. Строительные нормы и правила 2.06.04-82* «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)» / Госстрой СССР. — М., 1989. — 71 с.
4. Строительные нормы и правила 2.06.07-87 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения» / Госстрой СССР. — М., 1989. — 89 с.
5. Терцаги К. Механика грунтов в инженерной практике: [пер. с англ.] / К. Терцаги, Р. Пек. — М.: Госстройиздат, 1970. — 415 с.

УДК 626.4

М. А. Кузьмицкий,
д-р техн. наук,
СПГУВК;

В. А. Голицын,
канд. техн. наук, доцент,
СПГУВК

ОТКАЗЫ, ПОВРЕЖДЕНИЯ И ДЕФЕКТЫ ГИДРОПРИВОДОВ ВОРОТ И ЗАТВОРОВ СУДОХОДНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

FAILURES, DAMAGES AND DEFECTS OF THE HYDRAULIC DRIVES FOR GATES AND SHUTTERS OF NAVIGABLE HYDRAULIC STRUCTURES

В статье приведены факты отказов, повреждений и выявленных дефектов гидравлических приводов ворот и затворов судоходных гидротехнических сооружений. Рассмотрены вероятные причины реализации отказов и повреждений и возможные пути повышения работоспособности приводов.

The article presents the facts of refusals, the damage and the identified defects of hydraulic actuators of the gate and the gate of navigable hydraulic structures. Probable causes of failures and damages and possible ways of increasing the efficiency of the drives are considered.

Ключевые слова: дефект гидравлических приводов, затвор, гидротехнические сооружения.

Key words: defects of the hydraulic actuators, gate, hydraulic structures.

В НАСТОЯЩЕЕ время на магистральных судоходных гидротехнических сооружениях (СГТС) РФ эксплуатируется примерно 800 приводов ворот и затворов, из них 700 механических и 100 гидравлических.

Срок службы механических приводов составляет 45–70 лет. В результате объективного протекания процессов старения (изнашивание трением, усталостное разрушение, накапливание механических повреждений и деформаций) имели место разрушения элементов приводов и многочисленные случаи их замены по результатам плановых наблюдений. Указанное обстоятельство, а также факт превышения срока службы механических приводов в условиях интенсивной эксплуатации над установленным (25 лет) в 2–3 раза свидетельствуют о необходимости их замены.

Одним из наиболее вероятных технических решений при этом является переход на гидроприводы ворот и затворов, которые представляют собой многоэлементные системы, надежное функционирование которых требует высокого уровня технологии изготовления, монтажа и эксплуатации.

Производство крупногабаритных гидроприводов ворот и затворов СГТС носит, как правило, единичный или малосерийный характер, уровень отработанности технических решений и технология которого ниже, чем при производстве массовых гидравлических систем (например, автомобильная, автодорожная, авиационная техника и т. п.). Это предопределяет наличие конструктивных недостатков, худшее качество обработки и очистки деталей, а также сборки узлов. Монтаж гидроприводов ворот и затворов производится не в заводских условиях, а непосредственно на сооружениях, обычно при их строительстве или реконструкции. Отличительными особенностями эксплуатации гидроприводов ворот и затворов СГТС являются: большой срок службы (несколько десятилетий); контакт отдельных поверхностей элементов с коррозионной средой; широкий температурный диапазон; наличие нерасчетных нагрузок.

За период эксплуатации гидроприводов ворот и затворов СГТС (20–45 лет) имели место износы и повреждения различных элементов, выявлены технологические дефекты, что привело к необходимости их ремонта или замены.

На начальном этапе эксплуатации гидроприводов ворот и затворов СГТС наблюдается интенсивное изнашивание элементов маслонасосных установок и систем управления, течь маслопроводов, образование рисков и задиров на штоках сервомоторов (рис. 1). Сказанное относится к большинству приводов. Наиболее характерным примером может служить опыт эксплуатации 2-й камеры Кочетовского шлюза, где за первых 1,5 года эксплуатации по причине повреждений штоков была произведена замена большинства сервомоторов.



Рис. 1. Риски на хромовом покрытии

Через 10–15 лет эксплуатации на СГТС р. Волги (г. Городец, Чебоксары, Балаково) отмечено шелушение (отслаивание) хромового покрытия на отдельных участках штоков сервомоторов, что вызвало необходимость их ремонта или замены (около 30 % от общего числа).

На участках штоков, имеющих контакт с коррозионной средой (водой), наблюдается образование крупных коррозионных язв (рис. 2) глубиной до 2,5 мм. По данным наблюдений, образованию и развитию таких повреждений предшествовало появление (наличие) «точечных проявлений», в качестве которых могут рассматриваться технологические поры на хромовом покрытии (рис. 3), обнаруженные при обследовании на большинстве штоков сервомоторов камеры № 2 Кочетовского шлюза.



Рис. 2. Коррозионные язвы



Рис. 3. Поры на поверхности хромового покрытия

На горизонтально расположенных сервомоторах привода двустворчатых ворот отмечены случаи остаточной деформации (погибы) штоков. Отмечается неустойчивая работа гидроприводов подъемно-опускных ворот, маневрирование которых производится двумя сервомоторами. Рассмотрим вероятные причины отказов повреждений и повышенных износов гидроприводов ворот и затворов СГТС.

Хромовые покрытия имеют высокую твердость. По данным [1] для блестящего хрома ее значение превышает HV 900. Образование повреждений в виде рисок возможно в случае наличия в зазоре между штоком и сопрягаемой деталью (узел уплотнения) частиц, например песка SiO_2 , твердость которого по данным [2] достигает 1000 HV. Наличие частиц с высокой твердостью в рабочей жидкости приводит к абразивному изнашиванию — процессу интенсивного разрушения поверхностей деталей при трении скольжения, обусловленного наличием абразивной среды в зоне трения и выражающейся в местной пластической деформации, микроцарапании и микрорезании абразивными частицами поверхностей трения [3].

При появлении в зазорах между сопрягаемыми деталями твердых частиц, размеры которых превышают толщину хромового покрытия, происходит продавливание и разрушение последнего за счет пластической деформации основного металла детали. При этом твердость материала частиц, попавших в зазор, может быть значительно ниже твердости хрома. Такой механизм разрушения весьма вероятен при образовании задиров (глубина и ширина дефектов значительно превышает толщину хромового покрытия).

В работе [4] указывается, что в зависимости от качества очистки (фильтрации) рабочей жидкости срок службы гидроагрегатов может изменяться в несколько (до десятка) раз.

Загрязненность рабочей жидкости, как правило, вызвана:

- попаданием абразивных частиц при заправке и дозаправке гидросистемы;
- наличием в гидросистеме продуктов механической обработки деталей;
- образованием частиц износа и окисления деталей, особенно в начальный период эксплуатации (приработочный износ).

Учитывая сказанное и перечисленные выше особенности изготовления и монтажа гидроприводов ворот и затворов СГТС, загрязненность рабочей жидкости следует считать наиболее вероятной причиной образования повреждений и повышенных износов их элементов в начальный период эксплуатации.

Основными причинами шелушения хромового покрытия при отсутствии коррозионной среды могут являться [1]:

- низкое качество механической обработки или химической подготовки поверхности перед покрытием;
- нарушение теплового режима хромирования;
- нарушение токового режима хромирования.

Анализ выполненных исследований [5–10] показывает, что при хромировании на ранней стадии формирования сплошных осадков наличие на подложке частиц полировочной пасты, абразивов, очесов матерчатых кругов, оксидных пленок затрудняет осаждение металла.

Одной из причин вспучивания покрытий [11] может быть водород, поглощенный основным металлом в процессе хромирования. В наибольшей мере освобождение (выделение) водорода происходит при растягивающих малоцикловых деформациях.

В гальванических покрытиях наряду с нарушениями кристаллической решетки часто встречаются макроскопические дефекты (поры, водородные камеры, пустоты, связанные или несвязанные между собой трещины). В силу специфики процесса электроосаждения большинство покрытий формируются в условиях, когда имеет место одновременный разряд ионов металла и водорода. Часть образующихся пузырьков адсорбируется на поверхности катода [5; 6; 10]. В результате появляются незаполненные металлом углубления (питтинг), которые могут пронизывать всю толщину осадка. В некоторых случаях пузырьки, которым удалось закрепиться на поверхности катода, постепенно обрастают металлом, что приводит к возникновению замкнутых полостей, так называемых водородных камер.

Указанные выше технологические дефекты хромовых покрытий наряду с эксплуатационными дефектами типа задиров в присутствии коррозионной среды могут рассматриваться как потенциальные очаги образования коррозионных повреждений, разрушения основного металла и отслаивания хрома.

Существует несколько направлений [1; 2; 7] повышения коррозионной стойкости хромовых покрытий, например предварительное осаждение на основной металл подслоев меди и никеля, использование многослойного хромового покрытия и т. п. Однако отмечается, что при наличии дефектов, размеры которых превышают толщину покрытия, они могут оказаться малоэффективными. В рассмотренных работах нет результатов исследований коррозионной стойкости и целостности хромовых покрытий в течение большого срока эксплуатации (до нескольких десятилетий).

Поэтому нельзя исключать из рассмотрения возможность изготовления отдельных деталей гидроприводов ворот и затворов СГТС из нержавеющей сталей, хотя это неизбежно приведет к снижению их износостойкости. Достижение длительной и надежной эксплуатации гидроприводов ворот и затворов СГТС потребует:

- доработки проектов с учетом условий эксплуатации СГТС и их элементов;
- разработки технических требований по испытаниям гидроприводов на предприятии-изготовителе и в период пусконаладочных работ;
- обеспечения износостойкости и коррозионной стойкости элементов.

Выводы

1. Наибольшая интенсивность образования повреждений, дефектов и отказов наблюдается на первичном этапе эксплуатации гидроприводов ворот и затворов СГТС, что, как правило, вызвано наличием различного вида загрязнений в гидросистеме.

2. В последующий период эксплуатации отказы элементов гидропривода обусловлены наличием технологических и эксплуатационных дефектов, а также недостаточной отработки конструкций.

3. Учитывая наметившуюся тенденцию к замене механических приводов ворот и затворов на гидравлические, представляется необходимым проведение детальных исследований причин отказов и повреждений элементов гидроприводов, находящихся в эксплуатации, и анализа возможности использования других материалов и технологий для изготовления элементов.

Список литературы

1. Черкез М. Б. Хромирование и железнение / М. Б. Черкез. — М.: Машиностроит. лит., 1958. — 81 с.
2. Сайфулин Р. С. Комбинированные электромеханические покрытия и материалы / Р. С. Сайфулин. — М.: Химия, 1972. — 167 с.
3. Костецкий Б. И. Сопротивление изнашиванию деталей машин / Б. И. Костецкий. — М.; Киев: Машиностроит. лит., 1959. — 478 с.
4. Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика / Т. М. Башта. — М.: 1971. — 672 с.
5. Поветкин В. В. Структура электролитических покрытий / В. В. Поветкин, И. М. Ковенский. — М.: Metallurgy, 1989. — 135 с.
6. Справочное руководство по гальванике: пер. с нем. — М.: Metallurgy, 1969. — 418 с.
7. Богорад Л. Я. Хромирование / В. В. Поветкин. — 5-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1984. — 57 с.
8. Бильфиндер Р. Твердое хромирование / Р. Бильфиндер. — М.: Машгиз, 1947. — 358 с.

9. Михайлов А. А. Обработка деталей с гальваническими покрытиями / А. А. Михайлов. — М.: Машиностроение, 1971. — 672 с.
10. Салли А. Хром / А. Салли, Э. Брэндз. — М.: Metallurgiya, 1971. — 358 с.
11. Карпенко Г. В. Влияние водорода на свойства стали / Г. В. Карпенко, Р. И. Крипякович. — М.: Metallurgizdat, 1962. — 672 с.

УДК 626.421.4

А. М. Гапеев,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ И ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ НАПОЛНЕНИЯ КАМЕР СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ ИЗ-ПОД ПЛОСКИХ ПОДЪЕМНО-ОПУСКНЫХ ВОРОТ

DETERMINATION OF DIMENSIONS AND RELATIVE POSITION OF LOCK CHAMBER SYSTEM COMPONENTS WHEN FLOODING FROM UNDER PLAIN LIFT-OVERPOUR GATE

Приведена приближенная методика определения размеров водопропускных отверстий, образуемых элементами системы наполнения, по условиям безопасности шлюзуемых судов и эффективности работы гасительных устройств.

An approximate method for determining the size of culvert openings formed by the elements of the system of filling for safety of ships when locking and effectiveness of extinguishing devices is shown.

Ключевые слова: судоходный шлюз, головная система питания, гасительные устройства, наполнение камер.

Key words: shipping lock, head-end filling, extinguishing devices, lock chamber filling.



ОСНОВНЫМ типом судопропускных сооружений, возводимых на шлюзованных водных путях России, являются судоходные шлюзы. В настоящее время в постоянной эксплуатации находятся 129 судоходных шлюзов, в числе которых 119 шлюзов имеют сосредоточенную (головную) систему питания как наиболее простую и экономичную и только 10 — распределительную.

Опыт эксплуатации судоходных шлюзов показывает [1, с. 45–47], что значительная их часть, в особенности с головными системами наполнения камер, не всегда обеспечивает заданную пропускную способность и безопасность шлюзования крупнотоннажного флота. Наиболее сложные условия шлюзования судов имеют место в шлюзах с наполнением камер из-под плоских подъемно-опускных ворот, которые считались совершенными по использованию в них различных гасительных устройств. Это шлюзы Волго-Донского и Волго-Балтийского каналов, Балаковские и Городецкие шлюзы на Волге, Нижнекамские, Краснодарский и др. На них в течение ряда лет проводились многочисленные натурные исследования по увеличению пропускной способности и обеспечению безопасности шлюзуемых судов. В некоторых случаях безопасные условия стоянки крупнотоннажного флота обеспечены за счет внедрения замедленных режимов подъема затворов, приведших к значительному увеличению времени наполнения камер, а в отдельных случаях уда-

лось добиться некоторого увеличения пропускной способности за счет внедрения многопрограммных режимов шлюзования, рассчитанных на пропуск различных по грузоподъемности типов судов.

Качество систем питания судоходных шлюзов при проектировании оценивалось по условиям стоянки в камере расчетных групп судов [2], и в большинстве случаев без учета влияния элементов системы питания на гидравлические параметры поступающего в камеру потока воды и изменений структуры флота в перспективе. Так, например, проектирование шлюзов Волго-Балтийского канала осуществлялось на пропуск через них плотовых составов и судов грузоподъемностью до 2700 т, а через шлюзы Волги — до 10 000 т. В настоящее время через шлюзы Волго-Балтийского канала пропускаются суда грузоподъемностью более 5000 т, доля которых в составе транспортного флота достигла 50 %, а через шлюзы Волги — грузоподъемностью свыше 18 000 т.

Изменение структуры флота привело к значительному увеличению коэффициентов стеснения живого сечения камер и, как следствие, к увеличению действующих на суда гидродинамических сил, значения которых в 3–8 раз превысили их нормативную величину.

При анализе устройства систем наполнения камер рассматриваемых шлюзов установлено отсутствие единого подхода к определению рационального состава, очертаний, размеров и взаимного расположения их элементов. Отсутствуют рекомендации по элементам систем питания и в действующих нормативных документах по проектированию судоходных шлюзов [3].

Для изучения работы отдельных элементов систем питания проведены специальные гидравлические исследования, позволившие оценить их влияние на кинематику потока внутри камеры гашения и условия стоянки шлюзуемых судов [4, с. 148–155]. Исследования проводились в гидротехнической лаборатории им. проф. Тимонова на фрагментарной и полной моделях второй нитки шлюза Шекснинского гидроузла. Рациональное проектирование шлюза в дальнейшем подтверждается результатами натурных исследований.

К числу существующих теоретических исследований по расчету головных систем питания шлюзов следует отнести работы А. В. Михайлова, который сделал наиболее весомый вклад в решение данной проблемы. Им разработана методика определения по условиям стоянки в камере шлюзуемого судна площади водопропускного отверстия, образуемого порогом и воротами, скорости подъема ворот и времени наполнения камеры, объема камеры гашения и длины успокоительного участка в камере шлюза [5].

Площадь водопропускного отверстия по этой методике принимается относительно высоты подъема ворот по вертикали, а не по нормали к очертанию ножа ворот [6, с. 214–234] и считается, что значительная часть энергии потока теряется на участке, ограниченном стенкой падения и балочной решеткой, и только около 3–5 % ее переходит в успокоительный участок. Эффективность гашения энергии потока в этом случае зависит от работы балочной решетки, и ее часто называли «гасительной». На самом деле, как показали исследования [2], значительная часть энергии потока 75–78 % теряется на участке, ограниченном стенкой падения и экраном, на котором обеспечивается гашение падающей струи о твердые стенки, около 20 % — на участке распределения потока, включая колодец и балочную решетку, и примерно 2–3 % — на успокоительном участке камеры шлюза.

Балочная решетка, как показали исследования П. Р. Хлопенкова [7], предназначена в основном для равномерного распределения потока при выходе в камеру шлюза и должна располагаться с неравномерным шагом отверстий по высоте, увеличивающимся снизу вверх. Шаг изменения отверстий между балками предлагается устанавливать по закону геометрической прогрессии без учета кинематических параметров потока.

Среди работ, посвященных исследованиям очертаний ножа подъемно-опускных ворот, можно отметить работы В. А. Кривошея. Используя плоскую теорию потенциального движения идеальной жидкости, он предлагает выполнить нож выпуклой формы, очерченной по направлению падающей струи. Эта форма позволяет уменьшать тяговое усилие при подъеме ворот, однако по условиям истечения жидкости она аналогична разрезному порогу и приводит к существенному

Максимально допустимая площадь водопропускного отверстия, образуемая порогом и воротами, определяется по зависимости [5].

$$\omega_0 = \frac{P_{\text{пр}} \cdot \alpha_3 \cdot g \cdot (\Omega_n - \otimes) \cdot T_{\text{нап}}^{\text{мин}}}{\mu_0 \cdot D \cdot W \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_n}}, \text{ м}^2 \quad (1)$$

где $P_{\text{пр}}$ — допустимая величина продольной составляющей гидродинамической силы [3]:

$$P_{\text{пр}} = 1,4 \cdot \sqrt{W}, \text{ кН}; \quad (2)$$

$T_{\text{нап}}^{\text{мин}}$ — минимально допустимое время наполнения камеры, определяемое при подъеме ворот с постоянной скоростью по зависимости:

$$T_{\text{нап}}^{\text{мин}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{H_k \cdot \Omega \cdot W \cdot D}{\alpha_3 \cdot (2 - \alpha_3) \cdot (\Omega_n - \otimes) \cdot g \cdot P_{\text{пр}}}}, \text{ с}; \quad (3)$$

$\otimes, \Omega, \Omega_n$ — площади соответственно погруженной части судна по миделю, зеркала и поперечного сечения камеры при начальном уровне нижнего бьефа;

$\mu_0 = 0,6-0,7$ — коэффициент расхода системы питания при подъеме ворот на полную высоту $h_{\text{з.п.}}$;

g — ускорение силы тяжести;

$\alpha_3 = 0,7-0,8$ — относительное время подъема ворот; W — водоизмещение расчетного судна; D — коэффициент, учитывающий плановое положение судна в камере шлюза (при симметричном расположении $D = 1$).

Высота водопропускного отверстия по нормали к плоскости ножа ворот определяется равной:

$$h_0 = \frac{\omega_0}{B_{\text{ПК}}}, \text{ м},$$

а полная высота подъема ворот по вертикали:

$$h_{\text{з.п.}} = \frac{h_0}{\sin \alpha}, \text{ м}.$$

Здесь α — угол при нижней кромке ворот, принимаемый равным от 30 до 40°, а $B_{\text{ПК}}$ — полезная ширина камеры шлюза.

Длина участка камеры гашения от экрана до стенки падения определяется по зависимости

$$\ell_k = A \cdot \frac{\mu_o \cdot g \cdot (v_3)_{\text{доп}} \cdot T_1}{H_c} \cdot \sqrt{2g \cdot H_n^3} \sin \alpha, \text{ м}, \quad (4)$$

где $A = 0,20-0,25$ — коэффициент, характеризующий качество гасительных устройств [5]; T_1 — продолжительность наполнения камеры шлюза в первом промежутке:

$$T_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot (H_k - H_n) \cdot \Omega}{\mu_o \cdot B_{\text{ПК}} \cdot (v_3)_{\text{доп}} \cdot \sqrt{2gH_n}}}, \text{ с}; \quad (5)$$

$(v_3)_{\text{доп}}$ — допустимая по условиям стоянки расчетного судна величина постоянной скорости подъема ворот:

$$(v_z)_{доп} = \frac{P_{np} \cdot g \cdot (\Omega_n - \otimes)}{\mu_o \cdot \sqrt{2gH_n} \cdot W \cdot B_{нк} \cdot D}, \frac{м}{с}; \quad (6)$$

H_c — высота стенки падения:

$$H_c = H_k - H_n + S_k + h_k, \text{ м.}$$

Глубину гасительного колодца h_k рекомендуется назначать в пределах 2–4 м.

Если длина участка l_k , вычисленная по зависимости (4), окажется близко сопоставимой с длиной ниши рабочих ворот l_b , то в этом случае вместо экрана можно использовать сплошную плиту перекрытия над камерой гашения.

Высота водопропускного отверстия под экраном h_3 вычисляется по формуле

$$h_3 = \frac{\varphi_1 \cdot B_{нк} \cdot (v_z)_{доп} \cdot T_1}{\varphi_2 \cdot B \cdot \cos \beta}, \text{ м,} \quad (7)$$

где B — ширина водопропускного отверстия под экраном без учета толщины опорных бычков; φ_1 и φ_2 — коэффициенты, учитывающие потери скорости в рассматриваемых сечениях: $\varphi_1 = 0,97–0,98$ для водопропускного отверстия, образуемого при подъеме ворот, $\varphi_2 = 0,77–0,80$ — для отверстия под экраном (как для затопленного водоспуска); $\beta = 90^\circ - \alpha$ — среднее значение угла распределения потока на балочную решетку.

Длина участка распределения потока l_p определяется равной:

$$l_p = \left(H_c + \frac{h_{з.п.}}{2} \right) \cdot \text{ctg} \beta - \frac{l_k}{2}, \text{ м.} \quad (8)$$

Толщину экрана t_3 рекомендуется принимать в пределах 1–2 м, а угол сопряжения для колодца с днищем камеры γ — от 70 до 75°.

Суммарная высота отверстий между балками распределительной решетки в момент пропуска максимального расхода воды определяется по зависимости

$$\sum h_o = \frac{\varphi_1 \cdot B_{нк} \cdot h_{з.п.}}{\varphi_3 \cdot B \cdot \cos \beta} - \frac{h_{з.п.}}{2}, \text{ м,} \quad (9)$$

где $\varphi_3 = 0,72–0,75$ — среднее значение коэффициента, учитывающего потери энергии в отверстиях балочной решетки.

Высота i -го отверстия решетки при неравномерном расположении балок вычисляется по формуле

$$h_i = \varphi_i \cdot h_{cp} \left(1 + tg^2 \beta_i \right), \text{ м.} \quad (10)$$

Здесь h_{cp} — средняя высота отверстий при расположении балок с равномерным шагом:

$$h_{cp} = \frac{\sum h_o}{n_o}, \text{ м,}$$

n_o — число отверстий, равное числу балок решетки n_p :

$$n_o = n_p = \frac{\sum t_p}{t_p},$$

$\sum t_p$ — суммарная высота балок распределительной решетки, равная

$$\sum t_p = (H_k - H_n) + S_k - \sum h_o, \text{ м,}$$

t_p — установленная толщина балки на входе потока ($t_p = 0,75; 1,0; 1,5; 2,0$ м, а длину балки l_6 рекомендуется принимать равной соответственно 1,0; 1,5; 2,0; 2,5–3,0 м; толщина и длина верхней плиты перекрытия может отличаться от размеров балки: длина, как правило, больше, а толщина не менее 0,5 м).

Определение высоты каждого отверстия балочной решетки, шаг которой увеличивается снизу вверх, рекомендуется осуществлять графоаналитическим способом.

Зная угол распределения потока от дна камеры шлюза

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \frac{h_k}{\ell_p + \frac{\ell_k}{2}},$$

определяют высоту первого отверстия:

$$h_1 = \varphi_{01} \cdot h_{cp} \cdot (1 + \operatorname{tg}^2\beta_1), \text{ м.}$$

Здесь $\varphi_1 = \varphi_n + \Delta\varphi$ — коэффициент, учитывающий потери энергии в первом от дна камеры отверстия балочной решетки; $\Delta\varphi$ — приращение коэффициента, равное для любого отверстия $\Delta\varphi = \frac{\varphi_b - \varphi_n}{n_o}$, где φ_b, φ_n — значения коэффициентов соответственно у дна камеры и над плитой перекрытия [8]: $\varphi_n = 0,45\text{--}0,50$; $\varphi_b = 0,95\text{--}0,98$.

По условиям незасорения первого отверстия теплой древесиной и мусором h_1 должна быть принята не менее 0,40 м.

Далее определяют угол направления потока на второе отверстие:

$$\operatorname{tg}\beta_2 = \frac{h_k + h_1 + t_p}{\ell_p + \frac{\ell_k}{2}}$$

и высоту второго отверстия:

$$h_2 = \varphi_{02} \cdot h_{cp} \cdot (1 + \operatorname{tg}^2\beta_2), \text{ м,}$$

где $\varphi_{02} = \varphi_{01} + \Delta\varphi$.

Аналогичным образом определяются углы направления потока и высоты последующих отверстий:

$$\operatorname{tg}\beta_i = \frac{h_k + \sum h_i + \sum t_p}{\ell_p + \frac{\ell_k}{2}},$$

$$h_i = \varphi_{0i} \cdot h_{cp} \cdot (1 + \operatorname{tg}^2\beta_i), \text{ м,}$$

где $\varphi_{0i} = \varphi_{(i-1)} + \Delta\varphi$.

Длина успокоительного участка камеры l_y , отсчитываемая от низовой грани балочной решетки до створа начала полезной длины камеры шлюза, определяется по формуле

$$\ell_y = A \frac{\mu_o g (v_3)_{дон} T_1}{S_k + H'_n} \cdot \sqrt{2gH'_n{}^3} \sin \alpha, \text{ м.} \quad (11)$$

Разработанная методика приближенного теоретического расчета размеров водопропускных отверстий, образуемых при взаимном расположении основных элементов верхней головы, дает вполне сопоставимые результаты с данными экспериментальных исследований [2], а также была

использована при проектировании новых [9, с. 84–95; 10, с. 61–84; 11, с. 11–13] и реконструкции существующих систем питания камер судоходных шлюзов с наполнением из-под затворов [12, с. 135–141].

Список литературы

1. *Гапеев А. М.* Натурные гидравлические исследования судоходных шлюзов // Гапеев А. М., Кононов В. В. Безопасность гидротехнических сооружений. — СПб.: СПГУВК, 2008. — Кн. 2.
2. *Гапеев А. М.* Совершенствование эксплуатационных качеств судоходных шлюзов с головной системой питания: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А. М. Гапеев. — СПб.: СПГУВК, 1999. — 43 с.
3. СНиП 2.06.07-87 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения». — М.: Госстрой СССР, 1987. — 35 с.
4. *Гапеев А. М.* Влияние отдельных элементов верхней головы шлюза на гидравлические параметры потока // Гапеев А. М. Гидротехнические сооружения и путевые работы на внутренних водных путях для судоходства. — Л.: ЛИВТ, 1984.
5. *Михайлов А. В.* Головные системы питания судоходных шлюзов и их расчет / А. В. Михайлов. — М.: Минречфлот СССР, 1951. — 172 с.
6. *Гапеев А. М.* О гидравлическом расчете наполнения судоходных шлюзов с незатопленными водопропускными отверстиями // Гапеев А. М., Кононов В. В. Водные пути и гидротехнические сооружения. — СПб.: СПГУВК, 1999. — Ч. I.
7. *Хлопенков П. Р.* Вопросы проектирования головного наполнения судоходных шлюзов / П. Р. Хлопенков. — М.: Речной транспорт, 1966.
8. Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П. Г. Киселева. — М.: Энергия, 1974. — 313 с.
9. *Гапеев А. М.* Обоснование системы наполнения камеры судоходного шлюза «Дубой» Днепро-Бугского канала / А. М. Гапеев, Г. Г. Рябов — СПб.: СПГУВК, 2007.
10. *Гапеев А. М.* Варианты системы питания проектируемой второй нитки шлюза Нижнесвирского гидроузла // Гапеев А. М., Кононов В. В. Водные пути и гидротехнические сооружения. — СПб.: СПГУВК, 2007.
11. *Гапеев А. М.* Обоснование безопасных режимов наполнения (опорожнения) камеры проектируемого шлюза / А. М. Гапеев, Н. М. Морозова // Журнал университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2011. — Вып. 3 (11).
12. *Гапеев А. М.* Совершенствование системы наполнения камер типовых шлюзов Волго-Балтийского канала // Гапеев А. М. Водные пути и гидротехнические сооружения. — СПб.: СПГУВК, 2002.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА

УДК 621.436

О. К. Безюков,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК;

Н. Б. Ганин,
канд. техн. наук, доцент,
СПГУВК;

П. А. Комаров,
аспирант,
СПГУВК

МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН В ДЕТАЛЯХ СУДОВЫХ ДВС ПРИ ОТСУТСТВИИ СВЕДЕНИЙ ОБ ИХ МЕСТОНАХОЖДЕНИИ

METHOD OF DETECTION OF FATIGUE CRACKS IN THE DETAILS OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE IN THE ABSENCE OF INFORMATION ABOUT THEIR WHEREABOUTS

Суть нового метода выявления усталостных трещин состоит в выявлении локальных границ концентраторов напряжения 3D модели детали судового дизеля с помощью метода конечных элементов и измерения ширины усталостной трещины с помощью цифрового микроскопа в локальных границах концентратора напряжений.

The essence of the new method of detection of fatigue cracks is to identify local borders of stress raisers in 3D part model of a ship diesel engine with the help of the finite element method and width measurement of fatigue crack using a digital microscope in the local borders of hub stress.

Ключевые слова: усталостные трещины, напряжение, судовый дизель, метод конечных элементов, цифровой микроскоп.

Key words: fatigue cracks, stress, ship diesel engine, finite element method, digital microscope.

СВОЕВРЕМЕННОЕ выявление усталостных трещин в деталях судовых ДВС на стадии их формирования является актуальной задачей. Особенно при отсутствии предварительных сведений об их местонахождении. Точное знание местонахождения усталостной трещины позволит уменьшить время ее нахождения, а зная ширину и длину трещины, можно ориентировочно оценить остаточный ресурс детали судовых ДВС при его ремонте и предупредить вероятную поломку. Безусловно, создание условий, затрудняющих образование усталостных трещин, лучше всего осуществлять на начальной стадии проектирования детали, используя принцип ее равнопрочности.

Усталостное разрушение обычно происходит при знакопеременных нагрузках, производящих поначалу малозаметный эффект, когда ширина трещины не превышает 2 мкм. Этого недостаточно для того, чтобы они были заметны визуально, особенно в труднодоступных местах, даже при помощи лупы. Далее усталостные трещины прогрессируют и развиваются под воздействием растягивающих и сжимающих напряжений. В результате на поверхности детали в локальных зонах концентраторов напряжения появляются пластические деформации, которые при циклической работе двигателя могут стать причиной увеличения усталостных трещин, заметных уже невооруженным взглядом. При этом восстановление детали потребует значительно большей трудоемкости.

Метод выявления усталостных трещин показан на примере поршня судового дизеля Г-70 (6ЧН36/45). При разработке этого метода последовательно решались две задачи:

1. Выявление локальных границ концентраторов напряжения, вероятной зоны появления усталостных трещин, с помощью метода конечных элементов.

2. Выбор средств измерения ширины усталостной трещины.

Знание локальных границ местонахождения усталостных трещин позволит не только снизить время их нахождения, но и автоматизировать этот процесс в дальнейшем.

Выявление локальных границ концентраторов напряжения поршня дизеля Г-70 с учетом температурных напряжений целесообразно с помощью метода конечных элементов (МКЭ). Для этих целей по чертежам поршня создана его объемная (3D) модель в среде Solid Works рис. 1.

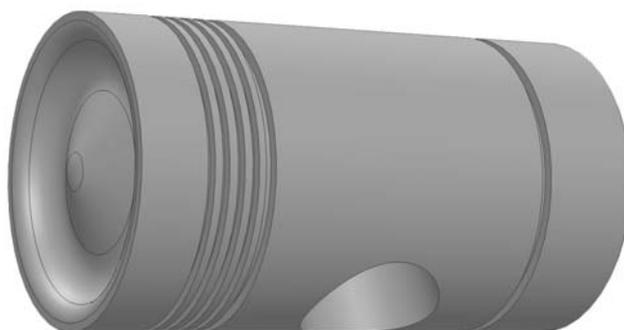


Рис. 1. Объемная модель поршня судового дизеля 6ЧН36/45

Полученную 3D модель необходимо разбить на конечные элементы, размеры которых должны удовлетворять общеизвестному правилу МКЭ, а именно результатам расчетов можно доверять, если в наиболее узкой части детали умещаются от 3 до 5 конечных элементов. В данном поршне «узкими» размерами являются перемычки между канавками под поршневые кольца и наименьшая толщина стенки поршня, которые равны 10 мм. Следовательно, величина конечного элемента не должна превышать 3,3 мм.

Разбивка 3D модели на конечные элементы длиной 3,3 мм изображена на рис. 2.

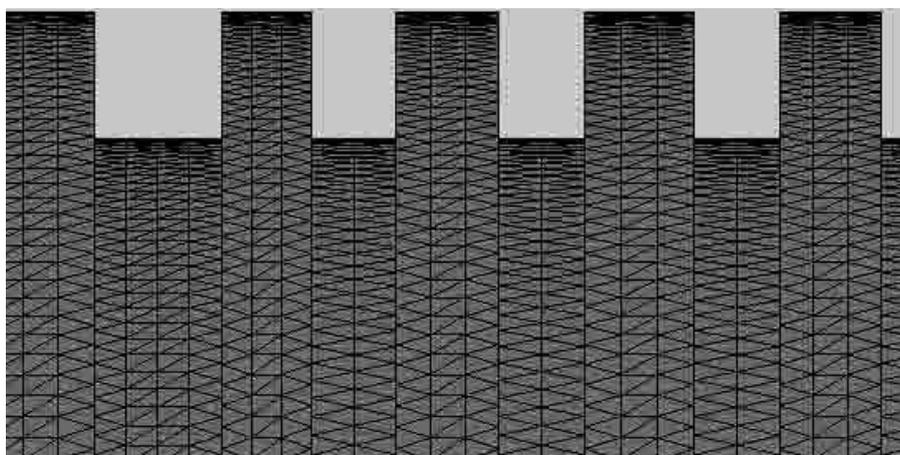


Рис. 2. Разбивка 3D модели на конечные элементы

В результате генерации сетки образовалось свыше 3 млн конечных элементов.

В качестве нагрузки использовалось максимальное давление сгорания на днище поршня 8 МПа. Опорой служили цилиндрические грани бобышки. Материал поршня — серый чугун СЧ 24-44.

Результаты расчетов напряжений показаны на рис. 3, а и деформаций при увеличении в 500 раз на рис. 3, б.

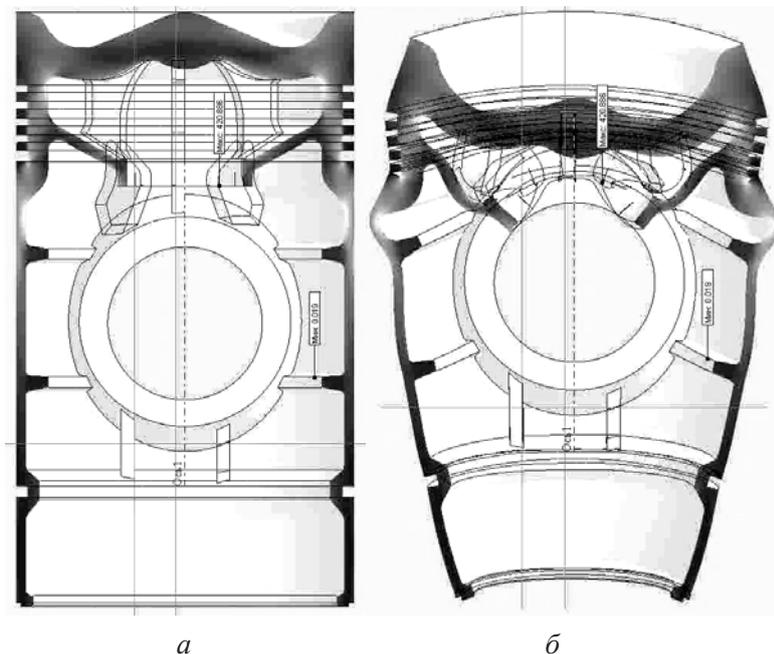


Рис. 3. Результаты расчетов напряжений

Из рис. 3, б видно, что вздутие тонкой стенки поршня (10 мм) свидетельствует о локальной зоне концентрации напряжений на внутренней стороне поршня (286 МПа). В этом месте, вероятнее всего, и следует искать усталостные трещины. Для наглядности карту локальных зон концентрации напряжений из рис. 4 сведем в табл. 1.

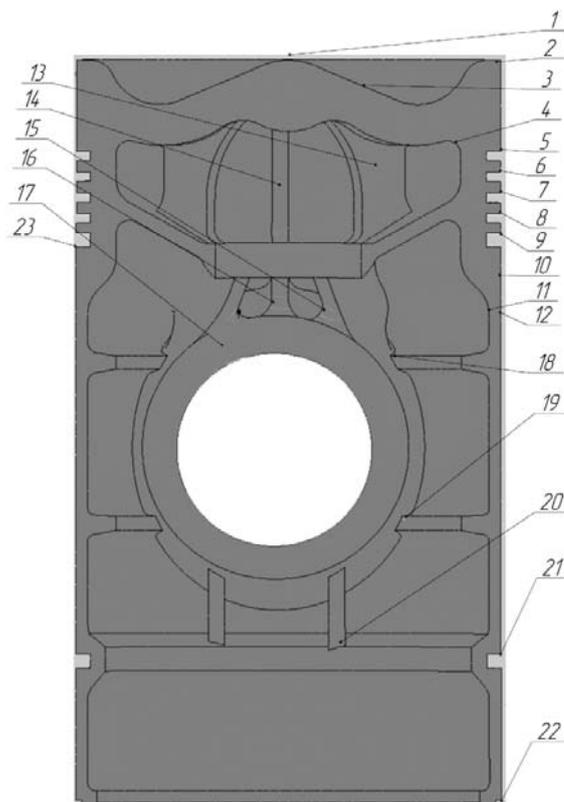


Рис. 4. Карта локальных зон концентрации напряжений

Таблица 1

Локальные зоны концентрации напряжений поршня дизеля типа Г-70

Расположение позиций	Напряжение, МПа		
	Макс.	Мин.	Среднее квадратич.
1	20.5	11.6	14.4
2	21.6	7.4	15.0
3	34.1	13.6	23.4
4	100.0	60.0	82.0
5	11.9	9.4	10.6
6	12.8	7.4	10.1
7	9.0	4.4	7.0
8	6.9	1.2	4.7
9	9.6	0.08	4.8
10	27.4	0.1	14
11	286.0	25	71.5
12	87.4	0.15	24
13	231	2.9	48.7
14	157	28	119.5
15	328.0	36.0	64.7
16	283.0	15.0	85.6
17	119.0	0.2	14.0
18	69.0	3.7	11.5
19	37.0	0.02	6.2
20	37.0	5.4	14.4
21	11.2	0.15	3.5
22	6.4	0.6	3.8
23	18.5	0.2	5.5

Наиболее вероятное образование усталостных трещин и даже разрыв поршня на две части возможен в поперечной плоскости поршня, отстоящей от днища на расстоянии 217 ± 10 мм, где происходит концентрация напряжений в тонкой стенке (286 МПа, поз. 11), и в основании ребер жесткости (328 и 283 МПа соответственно поз. 15 и 16).

Вторая задача реализации метода выявления усталостных трещин состоит в выборе средств измерения ширины усталостной трещины. Применяемые визуальные методы выявления пригодны лишь для обнаружения относительно больших усталостных трещин шириной более 0,1 мм, и потому визуально видимых. Поэтому в качестве средств измерения ширины усталостной трещины выбран переносной цифровой микроскоп с увеличением Ч200. Для этих целей подходит мобильный цифровой микроскоп Dino-Lite, имеющий следующие характеристики:

- оптическое увеличение от 50Ч до 200Ч, с возможностью цифрового увеличения до 330Ч;
- разрешение матрицы 1280Ч1024 точек;
- формат изображения: JPG, BMP;
- интерфейс: USB 2.0;
- частота видеосъемки и формат: 30 кадров в секунду, AVI;
- габаритные размеры 100×30 мм;
- длина соединительного кабеля с компьютером 1,8 м;
- вес микроскопа 90 г.

Внешний вид этого цифрового микроскопа показан на рис. 5.

Вокруг объектива микроскопа расположены 8 светодиодов для подсветки объекта съемки с автоматическим и ручным контролем яркости и баланса цветов.

Для поиска усталостных трещин необходимо подключить микроскоп к портативному компьютеру и направить его в локальную зону концентрации напряжений. В данном случае нас интересует внутренняя сторона стенки поршня в районе поз. 11 (см. рис. 4), где максимальное напряжение составляет 286 МПа. Габаритные размеры микроскопа позволяют установить его в этом труднодоступном месте.

Схема установки микроскопа показана на рис. 6.



Рис. 5. Цифровой микроскоп

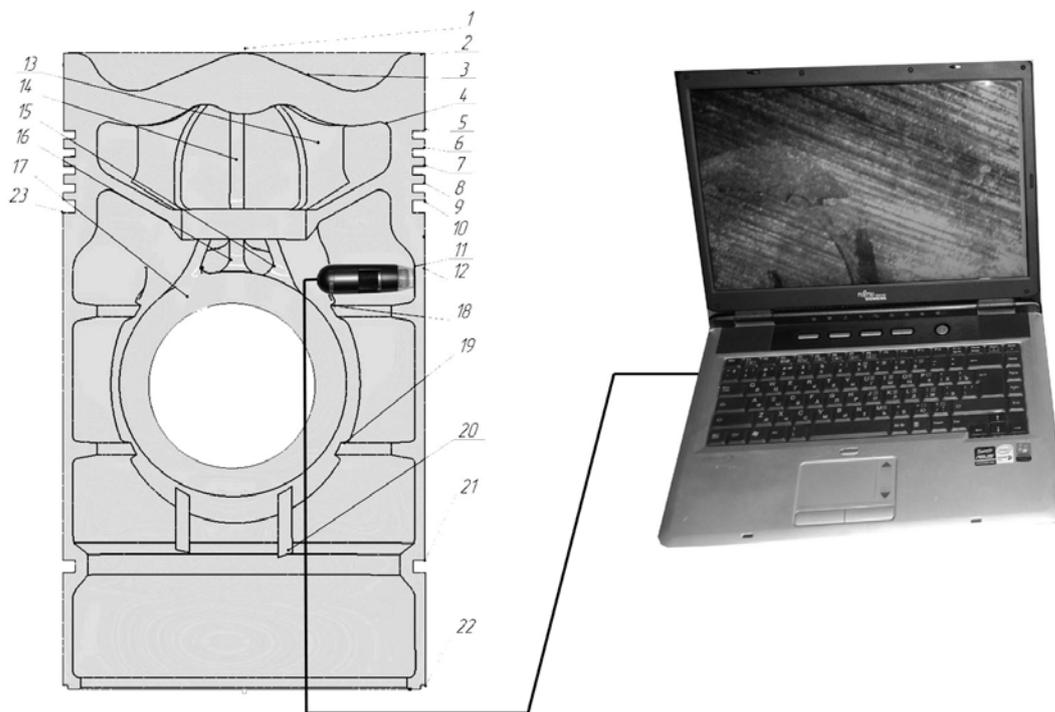


Рис. 6. Схема установки микроскопа

Осмотр зоны концентрации напряжений осуществляется на экране портативного компьютера. Регулирование степени увеличения и резкости осуществляется при помощи вращающегося цилиндра, расположенного в середине микроскопа.

При обнаружении усталостной трещины вручную производится ее фотосъемка — путем на-

жания кнопки, расположенной на торцевой части микроскопа. Фотографии усталостных трещин хранятся в компьютере в количестве, соответствующем свободному объему жесткого диска.

Образец фотографии усталостной трещины приведен на рис. 7.

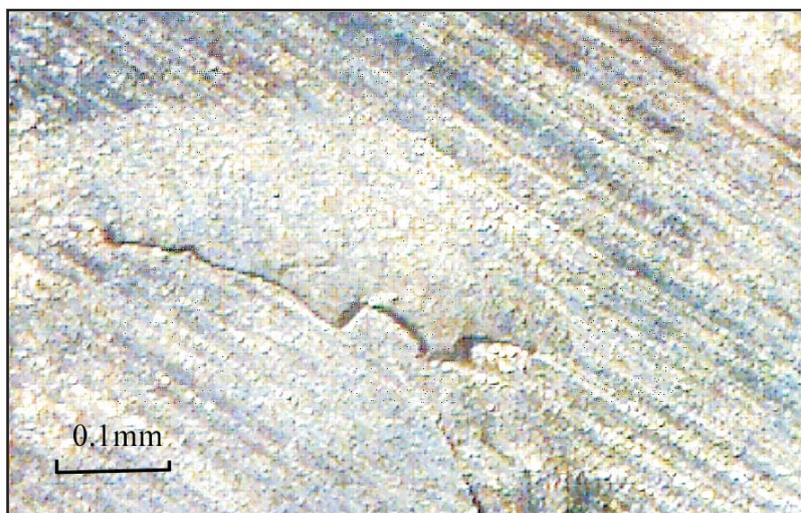


Рис. 7. Фотография усталостной трещины

Как видно из фотографии, ширина усталостной трещины переменна по длине и составляет в среднем от 3 до 10 мкм. Визуально заметить такую трещину практически невозможно.

Использование разработанного метода поиска усталостных трещин возможно в любых деталях судовых ДВС, как на наружных поверхностях, так и на внутренних полостях, превышающих габариты цифрового микроскопа.

Список литературы

1. Ганин Н. Б. Проектирование судовых двигателей внутреннего сгорания: учеб пособие / Н. Б. Ганин. — СПб.: СПГУВК, 2002. — 185 с.
2. Петин С. В. Основы инженерных расчетов усталости судовых конструкций / С. В. Петин. — Л.: Судостроение, 1990.
3. Панасюк В. В. Зарождение усталостных трещин у концентраторов напряжений / В. В. Панасюк // ФХММ. — 1985. — № 6. — С. 3–10.
4. Волков В. М. Разрыхление металлов и разрушение конструкций машин. Надежность и ресурс в машиностроении / В. М. Волков // Вестник ВГАВТ. — Н. Новгород, 2004. — Вып. 4. — С. 50–69.

УДК 621.879.45.004

Ю. Е. Ежов

канд. техн. наук, доцент,
СПГУВК;

Л. И. Погодаев,

д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК;

А. А. Кузьмин,

канд. техн. наук, профессор,
СПГУВК

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СМАЗОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ТОПОГРАФИЮ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ СОПРЯЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

EFFECT OF THE LUBRICATING COMPOSITION FOR FRICTION SURFACE TOPOGRAPHY OF THE MATING PARTS

Приведены результаты анализа по выявлению влияния присадок различного функционального назначения к базовому моторному маслу Shell X100 на комплекс противоизносных свойств и триботехнических характеристик трибосопряжения СЧ–Cr гальванический, работающего в условиях граничной смазки по схеме ролик–ролик. Приводится подробный анализ влияния шероховатости поверхности трения на износ сопряженных деталей, температуру, коэффициент трения и другие характеристики трибосопряжения.

The following analysis results are given: impact detection of the various functional purpose additives to the base motor oil Shell X100 to the antiwear properties complex and tribo adjunction СЧ–Cr galvanic tribotechnical characteristics working in the nonviscous lubrication conditions by the scheme insulator–insulator. The detailed analysis of influence of wear surface roughness to the wear of the conjugated details, temperature, wear coefficient and other characteristics of the triboconjugation is given.

Ключевые слова: структура, коэффициент трения, трибосопряжение, смазочные композиции, износостойкость.

Key words: structure, surface properties, wear coefficient, bearing area, wear resistance.

СМАЗОЧНЫЕ композиции (СК) состояли из базового минерального масла Shell X100 и 14 различных присадок. Содержание добавок в СК соответствовало рекомендациям фирм-изготовителей. Для сравнения испытали трибосопряжение при смазке синтетическим маслом Shell Herlix Ultra (табл. 1).

Пару трения составили из низколегированного (втулочного) серого чугуна (СЧ) HB = (215...225) Ч 10⁻¹ МПа и плотного гальванического хромового покрытия с микротвердостью H₅₀ = 11 000 МПа. Испытания проводили на машине трения ИИ-5018 по схеме ролик–ролик. Подвижный ролик диаметром 50 мм и шириной 12 мм изготавливали из СЧ (R_a = 0,36 мкм), а неподвижный, аналогичных размеров, — из чугуна с гальваническим хромовым покрытием толщиной 400 мкм и исходной шероховатостью R_a = 0,54 мкм.

Шероховатость измеряли профилографом фирмы “Hommel”. Выбор пар трения был обусловлен тем, что в настоящее время трибосопряжение СЧ–Cr гальванический является достаточно распространенным в судовых, тепловозных и автотракторных двигателях при изготовлении втулок цилиндров и хромированных поршневых колец.

Температуру в зоне трения, на расстоянии 1,7...2,0 мм от поверхности трения, измеряли с помощью термопары и потенциометра КСП-4. Момент трения определялся штатным моментометром и трибометром. Нагрузку на трибосопряжение в основных опытах изменяли в пределах от 10 до 50 МПа. В период приработки образцов удельная нагрузка достигала 70 МПа.

Таблица 1

Название СК	№ СК на рис.	$k_{СГ}$	$k_{СЧ}$	$T_r, ^\circ\text{C}$	$f_{тр}$	Для ролика (СЧ)		$d_{шмлт.}$ (ГОСТ), мм/отн. ед	$F_{СГ}$ износ, мм ² [227]	$d_{ш}$ мм	$F_{СГ} = l_{изн} d$ мм ²	$F_{СГ}^{отн}$	$h_{ш}$ мм	$V_{ш}$ мм ³	$k_{шд}$	$S_0, \text{мм}^2$	
						$R_{шр}$ МКМ	$R_{ш2}$ МКМ									$S_0^{отн}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
SHELL X100	1	1	1	200	0,091	0,16	1,16	0,36/1,0	6,67	1,45	6,2	1,0	0,021	0,065	1	230/(0,65)	
Shell HelixUltra	2	1,45	0,76	198	0,096	0,18	1,46	0,25	5,85	1,13	5,1	1,21	0,013	0,032	2,03	209/0,56	
Унимет	3	0,92	0,98	202	0,084	0,13	1,15	—	6,89	1,45	7,25	0,86	0,022	0,077	0,84	221/0,60	
СУРМ	4	1,26	0,57	210	0,094	0,16	1,25	0,26/1,38	5,54	1,45	5,85	1,06	0,022	0,062	1,05	202/0,55	
ХАДО	5	0,87	1,53	195	0,088	0,14	1,21	0,73/0,49	6,89	1,53	6,91	0,90	0,024	0,80	0,81	236/0,64	
AUTORPLUS	6	2,92	2,44	119	0,042	0,17	1,53	0,36/1,0	4,68	1,05	4,65	1,33	0,01	0,022	2,95	235/0,91	
УНИПЛАК	7	1,84	1,67	215	0,80	0,22	1,70	0,39/0,92	5,29	1,21	5,46	1,13	0,015	0,040	1,63	289/0,78	
E3000	8	0,84	0,56	219	0,106	0,20	1,37	0,29/1,24	7,53	1,58	7,25	0,86	0,026	0,091	0,71	197/0,53	
Lubrifilm Diamond	9	0,88	2,32	220	0,097	0,12	1,03	0,36/1,0	6,55	1,69	7,51	0,83	0,029	0,106	0,61	201/0,54	
XER ₂	10	2,63	2,77	117	0,057	0,19	1,059	0,36/1,0	4,62	1,21	5,0	1,24	0,015	0,038	1,71	299/0,81	
Xeramic PM	11	0,54	1,95	233	0,105	0,11	0,90	0,42/0,86	8,34	1,69	7,78	0,80	0,029	0,109	0,60	165/0,45	
ABRO	12	0,96	0,14	190	0,095	0,19	1,34	0,31/1,24	6,71	1,45	6,32	0,98	0,022	0,067	0,97	155/0,42	
Mannol	13	0,92	0,14	218	0,096	0,17	1,53	0,28/0,38 1,29/0,95	6,93	1,60	7,54	0,82	0,026	0,095	0,68	210/0,57	
PBX ²	14	1,31	0,57	180	0,067	0,18	1,55	0,29/1,24	5,84	1,37	5,54	1,12	0,019	0,051	1,27	256/0,69	
ER	15	0,49	0,86	164	0,058	0,17	1,46	0,30/1,2	6,55	1,60	7,02	0,88	0,026	0,088	0,74	226/0,61	
ФЕНОМ	16	0,35	0,93	217	0,083	0,12	1,08	0,33/1,09	9,47	1,85	8,67	0,72	0,034	0,142	0,46	197/0,53	

Для СК (№ 13) 0,28/0,38 — для СК с присадкой Mannol в количестве 10 %/5 %; $l_{изн}$ — фактическая длина пятна износа, мм.

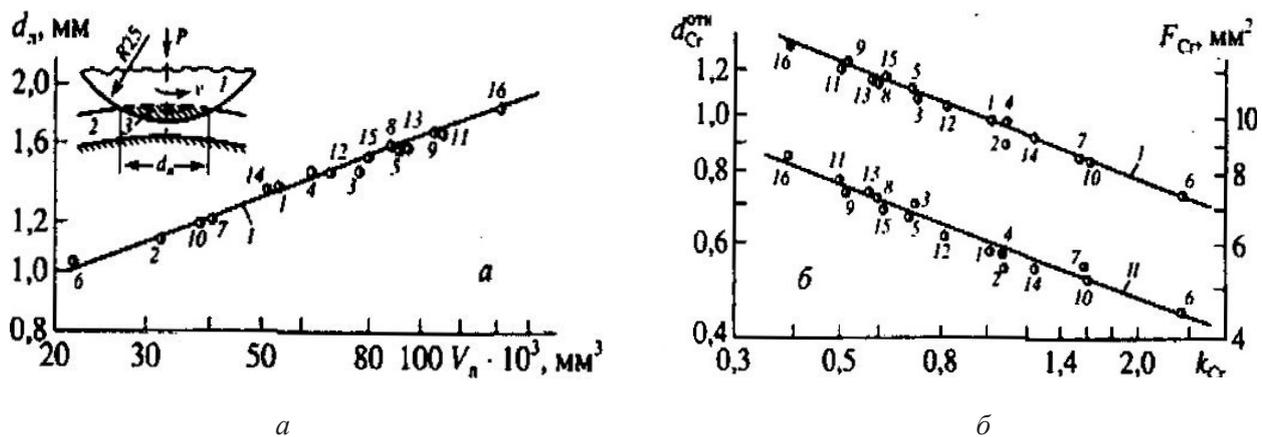


Рис. 1. а — зависимость $d_n = 3,63 V_n^{0,33}$ (I) после пятичасовых испытаний пары трения СЧ–Сг гальванический при смазке СК с добавками (табл. 1):
 I — ролик (СЧ), 2 — кольцо (Сг), 3 — износ (пл. F);
 б — соотношения между $d_{Cr}^{отн}$ и k_{Cr} ($I - d_{Cr}^{отн} = 0,97/k_{Cr}^{0,33}$) и между площадью пятна износа F_{Cr} и относительной износостойкостью хромированных образцов ($II - F_{Cr} = 6,1/k_{Cr}^{0,33}$)

Сравнительные испытания проводились в течение 5 и 10 ч. По истечении каждого часа определяли весовой износ чугунного ролика и площадь пятна износа на хромированном образце. Смазку трибосопряжения осуществляли капельным способом (4–6 капель в минуту).

Рассмотрим достоинства и недостатки работоспособности трибосопряжений СЧ–Сг гальванический по результатам их испытаний по схеме ролик–ролик в присутствии 18 вариантов СК [1–5]. К достоинствам можно отнести сравнительную легкость реализации на трибоконтакте достаточно жестких силовых и температурных условий внешнего нагружения, а также сравнительно простой визуальный и инструментальный (измерительный) доступ к поверхностям трения, в том числе к изнашиваемой поверхности хромированного образца в виде сегмента, вырезанного из натурального поршневого кольца двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

К недостаткам следует отнести следующие обстоятельства: неопределенность контактных давлений, уменьшающихся по мере увеличения пятна износа на хромированном образце; непрерывность трибоконтакта и его ограниченность по площади, что не соответствует условиям работы деталей ЦПГ ДВС (пары трения поршневое кольцо–цилиндровая втулка); возможные погрешности в оценке износостойкости трибосопряжений, связанные с измерением пятна износа лупой Бринелля, а также с возможными перекосами при периодической переустановке образцов (пятно износа может иметь форму прямоугольника и эллипса); нельзя произвести учет отдельного вклада упругой и пластической деформации в формообразование пятна износа. Упругое восстановление пятна контакта после снятия нагрузки, различное при разных СК, может существенно исказить истинную картину контактного взаимодействия образцов и привести к дополнительным погрешностям при оценке их износостойкости. Эти замечания в той или иной степени свойственны любым трибологическим испытаниям материалов и СК, проводимым по схеме ролик–ролик.

Повышение достоверности результатов возможно путем привлечения дополнительных методов исследований: микрорентгеноспектрального анализа, метода измерения микротвердости по глубине изнашиваемого слоя с учетом упругого восстановления отпечатка микротвердомера и т. п.

Схема испытаний трибосопряжения показана на рис. 1, а, из которой следуют упрощенные геометрические построения последовательного измерения увеличивающейся площади износа на боковой поверхности хромированного образца.

График зависимости диаметра лунки износа d_n от объемного износа V_n убедительно указывает на существование кубической зависимости между объемом V_n и основным линейным параметром

ром $d_{л}$, характеризующим износостойкость трибосопряжений при ширине образца $b = \text{const} = 12$ мм. Это — геометрическая зависимость, она имеет вид

$$(d_{л})_{г} = \text{const} \sqrt[3]{F} \cong 0,6\sqrt{F}, \quad (1)$$

где: F — заштрихованная площадь износа на боковой поверхности хромированных образцов (рис. 1, а).

При ширине ролика $b = 12$ мм выражение (1) перепишем в виде

$$(d_{л})_{г} = 2,6\sqrt{(V_{л})_{г}}, \quad (2)$$

Аналогичные зависимости, полученные при испытаниях образцов на машинах трения, имеют вид

$$(d_{л})_{\text{опыт}} = 3,63\sqrt[3]{(V_{л})_{д}} \quad \text{и} \quad (F_{Сг})_{\text{опыт}} = 6,1/\sqrt[3]{k_{Сг}}. \quad (3)$$

Из (2) и первой зависимости (3) вытекает соотношение

$$(d_{л})_{\text{опыт}} \cong 1,37(d_{л})_{г}, \quad (4)$$

а вторая зависимость (3) легко преобразуется в

$$(d_{л})_{\text{опыт}} = 0,97/\sqrt[3]{k_{V_{л}}}, \quad (5)$$

где: $(d_{л})_{\text{опыт}}$ и $k_{V_{л}}$ — относительные значения пятна износа и износостойкости, равной $V_{л3}/V_{л}$ (табл. 1, рис. 1).

Превышение в (4) опытных значений $(d_{л})_{о}$ на 37 % над $(d_{л})_{г}$, измеренными по геометрической схеме контакта, может быть связано с вибрационной активностью трибосопряжений и соответствующим «размазыванием» пятна контакта (износа) по поверхности хромированного образца. В то же время при значительном увеличении $(d_{л})_{\text{опыт}}$ от вибраций будет соответственно возрастать глубина лунки $h_{л}$, определяемая расчетным путем по значениям $(d_{л})_{\text{опыт}}$, и может превысить не восстановленное (то есть с участием упругих деформаций) значение $h_{л}$. Это в итоге приведет к погрешностям при определении не восстановленного объема $V_{л}(d_{л}, h_{л})_{\text{опыт}}$ и оценке относительной износостойкости трибосопряжений.

$$k_{V_{л}} \cong (d_{л})_{\text{отн}}^3.$$

В связи с этим целесообразно перейти к относительным значениям износных характеристик формуле (5), согласно которой относительная износостойкость трибосопряжений пропорциональна относительному пятну износа в кубе.

Рассмотрим влияние параметров шероховатости поверхностей трения на триботехнические характеристики и износостойкость трибосопряжений.

Для оценки параметров шероховатости R_a и R_z будем руководствоваться ГОСТ 2789-73. Для измерения R_a , R_z и построения опорных кривых использовался профилограф Hommel W Tester T-500 фирмы «Hommel Werke» (Германия). На первом этапе исследований были сопоставлены значения R_a и R_z (рис. 2). На рис. 2 отчетливо проявилась основная линия I с линейной зависимостью между R_z и R_a (т. 11, 9, 16, 3, 5) и два нелинейных ответвления: линия II (т. 1, 4, 12, 8) и III (т. 15, 13, 6, 2, 14, 10, 7). Линии II и III соответствуют квадратичным зависимостям. В общем случае имеем $R_z = \text{const}_{I, II, III} R_a^n$, где $n = 1,0$ для линии I и $n = 0,5$ для линий II и III.

Важно отметить, что только при трех СК (т. 11, 9 и 16) исходная шероховатость поверхности ролика из СЧ $R_a = 0,13$ мкм уменьшилась до 0,11...0,12 мкм. В остальных случаях — увеличилась от 0,13 до 0,22 мкм.

Анализ зависимостей I–III (рис. 2) указывает на существование оптимальной эксплуатационной шероховатости и масштабных уровней изнашивания, зависящих в большей степени от R_z

чем от R_a , а также от формы выступов шероховатости, определяющей фактическую площадь контакта A_p , коэффициента заполнения профиля k_v и несущую способность поверхности трения.

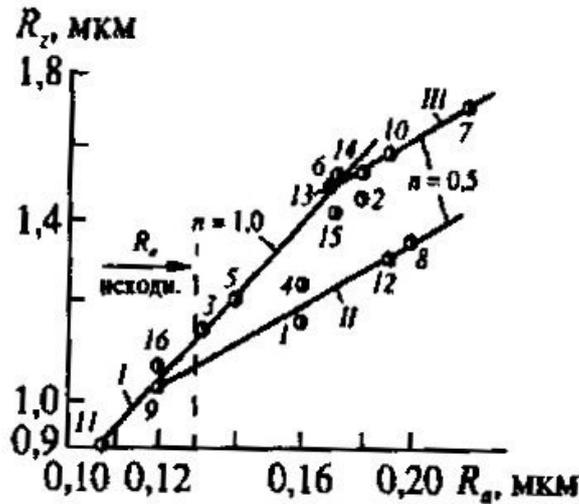


Рис. 2. Соотношение между параметрами шероховатости на поверхности ролика из СЧ при трении в паре с гальваническим Ст в присутствии СК с присадками

Для проверки этого предположения были проанализированы кривые опорной поверхности для всех вариантов СК с присадками (рис. 3).

Кривая опорной поверхности характеризует распределение материала в шероховатом слое. Она строится по профилограммам поверхности: по оси абсцисс откладывается отношение суммы сечений микронеровностей в виде отрезков на прямой линии, проведенной на некотором расстоянии от основания, а по оси ординат — расстояние от основания профиля до выбранного сечения.

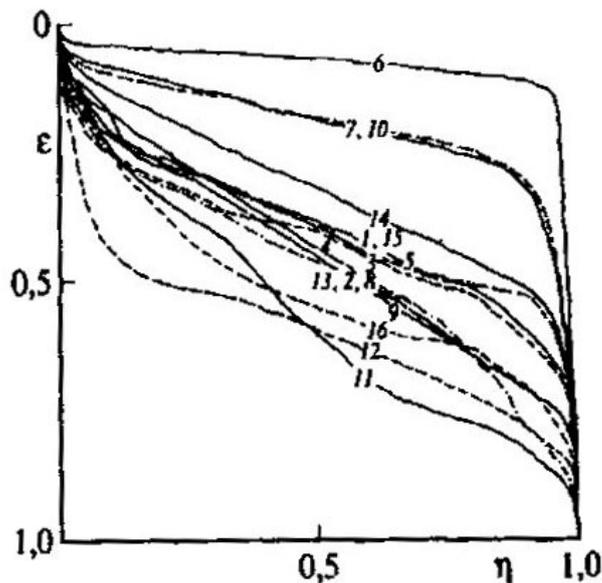


Рис. 3. Кривые опорной поверхности чугунного ролика при граничном трении в течение 5 ч и смазке минеральным маслом Shell X100 с добавками: $R_z = \text{const}$, $R_a^{\text{max}} = 3,2$ мкм, $R_a^{\text{max}} = 0,8$ мкм

Для каждого варианта была графически определена интегральная площадь под опорной кривой в пределах $\eta = 1$ и $\epsilon = 1$ по горизонтальной и вертикальной осям соответственно; η и параметры опорной кривой ϵ при $\epsilon = 0 \dots 1,0$. При этом максимально возможная площадь под опорной

кривой, равная произведению $(\eta\epsilon)^{\max}$, обозначенная S_0 , принятая за единицу, и реальные значения S , взятые в долях от S_0 (от 0,91 для кривой b до 0,42 для кривой 12 ; столбец 17 в табл. 1).

Аппроксимация начальных участков кривых опорной поверхности (рис. 3) степенными зависимостями в виде $\eta = b\epsilon^v$ позволила определить значения b и v для трех групп СК: $b = 11,3$ и $v = 1,85$ — для СК под № 6, 7, 10 (I группа); $b = 3,06$ и $v = 2,12$ — для СК под № 1–5, 8, 9, 13 и 15 (II группа); $b = 1,17$ и $v = 2,56$ — для СК под № 11, 12 и 16 (III группа).

По значениям b , v и шероховатости R_a микрогеометрия изнашиваемых поверхностей соответствует 5–6 квалитетам точности (ГОСТ 24643-81), реализуемым при финишных операциях механической обработки деталей — полировании ($b_{cp} = 2,67$, $v_{cp} = 1,6$) и доводке ($b_{cp} = 3,0$, $v_{cp} = 1,2$). Значениям b_{cp} и v_{cp} при механической обработке поверхностей лучше других соответствуют b и v опорных кривых профиля поверхностей износа для II группы СК ($S_0 = 0,58$). Для I группы СК характерно наиболее благоприятное наполнение материалом тончайшего изнашиваемого слоя ($b = 11,3$ и $S_0^{cp} = 0,8$). Высокие значения b и S_0^{cp} указывают на относительное равенство высот микронеровностей и небольшой шаг между выступами шероховатости. Низкие значения $b = 1,17$ и $S_0^{cp} = 0,43$ для III группы СК характеризуют большую неупорядоченность микрорельефа поверхностей: разновысотность выступов шероховатости и неравномерность шага между ними. Повышенное значение $v = 2,56$ указывает на большую разрыхленность изнашиваемого слоя, который способен уплотняться лишь после значительной упругопластической деформации.

Очевидно, что параметры b и S_0 определяют несущую способность шероховатого слоя и, как следствие, комплекс триботехнических и противоизносных характеристик. Между S_0 и b установлена степенная зависимость, близкая к кубической ($S_0 = 0,4b^{0,3}$). Дальнейшие сопоставления показали, что S_0 линейно связана с износостойкостью материалов, поэтому параметры S_0 и b можно использовать как диагностические при оценке влияния СК на работоспособность трибосопряжений.

Сопоставление коэффициентов трения $f_{тр}$ с R_a , R_z и S_0^{cp} на рис. 4 подтвердило существование масштабных уровней трения и изнашивания. На рис. 4, a , b два уровня трения разделены пунктирной линией при переходном значении $f_{mp}^n = 0,08$. Выше этого значения трибосопряжения работают в условиях граничного трения, ниже — в более благоприятных условиях смешанного (полужидкостного) трения, соответствующего f_{mp}^{\min} на кривой $f_{тр}(z)$ Герси–Штрибека. В последнем случае контактирующие поверхности разделяют более толстые смазочные пленки, а глубина лунки износа h_n (столбец 14 в табл. 1) не превышает 10...15 мкм при скорости изнашивания не более 2...3 мкм/ч. Это означает, что процессы упругопластического деформирования поверхности трения не выходят за пределы шероховатости R^{\max} и R_z и соответствуют преимущественно переходному мезоскопическому уровню деформирования (т. 6, 10, 15 и 14 на рис. 4, a , b).

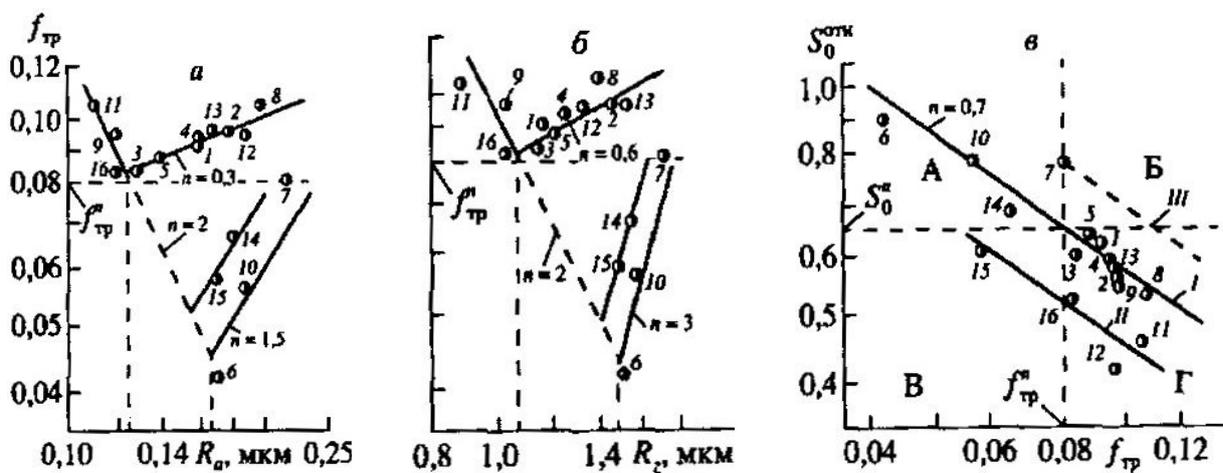


Рис. 4. Зависимость $f_{тр}$ от R_a (a) и R_z (b) и S_0^{cp} от $f_{тр}$ (v) при граничном трении пары СЧ–Ст гальванический в присутствии СК с различными присадками

При $f_{\text{тр}} = 0,08 \dots 0,105$ (остальные точки на рис. 4, а, б) смазочные пленки более тонкие, поэтому условия нагружения более жесткие. При этом процессы упругопластического деформирования выходят за пределы шероховатости R^{max} и R_z и развиваются в глубинных слоях металла. Зона упругопластического деформирования в несколько раз увеличивается по глубине, а скорости изнашивания возрастают в 2...3 раза. Можно считать, что такие условия соответствуют преимущественно макромасштабному уровню деформирования и изнашивания.

Макро- и мезомасштабным уровням трения на рис. 4, а, б соответствуют вполне определенные оптимальные значения параметров шероховатости:

Известно, что оптимальная шероховатость характеризует переход от адгезионного взаимодействия контактирующих поверхностей к механическому взаимодействию выступов шероховатости на сопряженных деталях. Ниспадающие ветви верхних кривых (рис. 4, а, б) указывают на преобладание адгезионного взаимодействия поверхностей трения. Характер верхних кривых $f_{\text{тр}}$, (R_a , R_z) (рис. 4, а, б) находится в соответствии с известными моделями граничного трения [1; 3; 4 и др.]. На более благоприятном масштабном уровне (нижняя часть рис. 4, а, б) на ниспадающей (пунктирной) ветви опытные точки отсутствуют. Это означает, что на мезоуровне адгезионное взаимодействие поверхностей трения не проявляется. Восходящая ветвь кривой указывает на увеличение роли механического фактора в зоне контакта при параметрах шероховатости, превышающих оптимальные значения.

Судя по рис. 4, а, б, параметры шероховатости оказывают существенное влияние на $f_{\text{тр}}$. Это влияние можно представить общей формулой $f_{\text{тр}} = \text{const}_{4,5,6} R_a^n$, где $\text{const}_{4,5,6}$ — опытные постоянные; $n = -2$ и $+0,3$ — для макроуровня и $n = 1,5$ — для мезоуровня; $f_{\text{тр}} = \text{const}_{7,8,9} R_z^m$, где $\text{const}_{7,8,9}$ — опытные постоянные; $m = -2$ и $+0,6$ — для микроуровня и $m = 3$ — для мезоуровня.

Большинство опытных точек на графике зависимости ($f_{\text{тр}}$) (рис. 4, в) группируется около линии I, которая соответствует степенной функции:

$$S_0^{\text{omn}} = \text{const}_{10} / f_{\text{мп}}^n = 0,11 / f_{\text{мп}}^{0,7}. \quad (6)$$

Опытные точки 15, 16, 11 и 12, соответствующие СК с химически активными присадками, снижающими S_0^{omn} и несущую способность трибосопряжений, группируются (рис. 4, в) около линии II, которая отличается от степенной зависимости (6) лишь постоянной ($\text{const}_{11} = 0,085$). Переход с мезо- на макромасштабный уровень показан на рис. 4, в двумя пунктирными линиями, пересекающимися в точке с координатами $f_{\text{мп}}^n = 0,08$ и ($S_0^{\text{omn}} = 0,64$). Удовлетворительная корреляция между $f_{\text{тр}}$ указывает на повышенную информативность критерия и перспективность его использования для оценки работоспособности трибосопряжений по комплексу важнейших характеристик.

Список литературы

1. *Погодаев Л. И.* Повышение надежности трибосопряжений / Л. И. Погодаев, В. Н. Кузьмин, П. П. Дудко. — СПб.: Академия транспорта, 2001. — 304 с.
2. *Погодаев Л. И.* Структурно-энергетический подход к оценке влияния смазочных композиций на износостойкость трибосопряжений / Л. И. Погодаев, В. Н. Кузьмин [и др.] // Трение и износ. — 2001. — Ч. 2. — Т. 22, № 3. — С. 299–304.
3. *Погодаев Л. И.* Структурно-энергетический подход к оценке влияния смазочных композиций на износостойкость трибосопряжений / Л. И. Погодаев, В. Н. Кузьмин, С. Н. Чулкин. // Трение и износ. — 2001. — Ч. 1: Структурно-энергетическая модель изнашивания. — Т. 22, № 2. — С. 168–172.

4. *Погодаев Л. И.* Моделирование процессов изнашивания материалов и деталей машин на основе структурно-энергетического подхода / Л. И. Погодаев // Проблемы машиностроения и надежности машин. — 1998. — № 5. — С. 94–103.

5. *Ломухин В. Б.* Испытания модификатора трения «Форум» / В. Б. Ломухин, Л. В. Ломухина, И. Г. Мироненко [и др.] // Трение, износ, смазка. — 2002. — Вып. 13. — С. 19–24.

УДК 621.313

А. В. Саушев,
канд. техн. наук, доцент,
СПГУВК

ОТОБРАЖЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОЛИНОМИНАЛЬНЫМИ ФУНКЦИЯМИ

DISPLAY OF STATIC AND DYNAMIC PROPERTIES OF ELECTROTECHNICAL SYSTEMS BY POLYNOMIAL FUNCTIONS

Рассматриваются принципы, необходимые условия и особенности построения факторных моделей для исследования статических и динамических свойств электротехнических систем. Определены требования, предъявляемые к параметрам системы, и область применения моделей.

The principles, necessary conditions and features of construction of factorial models for research of static and dynamic properties of electrotechnical systems are considered. The requirements for parameters of a system and a field of models application are defined.

Ключевые слова: факторная модель, электротехническая система, отображение свойств.
Key words: factorial model, electrotechnical system, display of properties.



ПРИНЦИПЫ построения факторных моделей. Для решения задач параметрического синтеза и диагностирования электротехнических систем (ЭТС) достаточно часто требуется знать характер изменения оценки свойств системы в зависимости от значений ее внутренних параметров. Для получения такой модели удобно воспользоваться иной, отличной от классической, формой представления информации о свойствах ЭТС.

Следуя работе [1], определим ЭТС как отношение $S \subset W \times D$ над абстрактными множествами W и D . Входящие в определение системы множества W и D являются соответственно множеством входов $\{w\}$ и множеством выходов $\{y\}$. При заданном начальном состоянии ЭТС α можно представить как отображение $S_\alpha : W \rightarrow D$ абстрактного множества W в абстрактное множество D . Отображение S_α ставит в соответствие каждому элементу $w \in W$ единственный элемент $y \in D$. Такое отображение называется функциональным.

Для иллюстрации введенной формы представления ЭТС рассмотрим достаточно часто имеющий место на практике случай, когда ЭТС является непрерывной детерминированной системой с сосредоточенными параметрами, и ее свойства могут быть описаны следующей системой линейных дифференциальных уравнений n -го порядка с постоянными коэффициентами:

$$\left[\dot{Z} \right]_t = \mathbf{B} [Z]_t + [\mu]_t,$$

где \mathbf{B} — матрица коэффициентов системы; $[Z]_t$ — координатный столбец вектора регулируемых величин $Z_1(t), Z_2(t), \dots, Z_g(t), \dots, Z_c(t)$, являющихся фазовыми переменными

ми ЭТС; $[\mu]_t$ — координатный столбец вектора возмущений $\mu_1(t), \mu_2(t), \dots, \mu_8(t)$. В общем случае $[\mu]_t = \{u_1(t), u_2(t), \dots, u_k(t), \dots, u_e(t), v_1(t), v_2(t), \dots, v_p(t), \dots, v_f(t)\}$. При заданном возмущении и начальных условиях при $t = 0$ решение системы уравнений имеет вид

$$[Z]_t = e^{At} [Z]_{t=0} + \int_0^t e^{A(t-\tau)} [\mu]_\tau d\tau.$$

Таким образом, если вектор возмущений определен в пространстве R^k , а вектор Z в пространстве R^c , то полученная зависимость представляет собой отображение $S_\alpha: R^k \rightarrow R^c$, где индекс α обозначает заданные начальные условия.

Анализ рассматриваемого в работе класса ЭТС показывает, что информация о свойствах практически всех элементов этих систем для заданных начальных условий может быть представлена в виде отображения S_α , то есть в виде связи некоторого подмножества входных воздействий со стороны внешней среды $\mu \subset W$ с множеством реакций D системы на эти входные воздействия. Математическая модель, которая получается в результате такого отображения, называется факторной моделью.

Задача построения отличной от классической формы представления результатов исследования ЭТС связана с изменением входных и выходных множеств системы или с изменением формы связи между этими множествами.

В работах А. М. Ляпунова при исследовании устойчивости динамических систем в качестве множества входных сигналов рассматриваются параметры этой системы, а в качестве возмущающих воздействий приняты отклонения параметров системы от некоторых исходных значений, при которых происходит движение системы. Следуя А. М. Ляпунову, представим входное множество таким образом, чтобы оно состояло лишь из внутренних параметров системы.

Пусть множество входных сигналов W представимо в виде декартова произведения $W = D_X \times U$ семейства множеств значений внутренних параметров системы $D_X = \{X\}$, которые также называют первичными параметрами, и множества входных задающих сигналов $U = \{u\}$, где $X = \{X_1, X_2, \dots, X_p, \dots, X_N\}$, $u = \{u_1, u_2, \dots, u_k, \dots, u_e\}$. Тогда отображение $\phi_\alpha: D_X \times U \rightarrow D$ также будет описывать свойства системы, но в ином виде.

Преобразуем множество входов системы следующим образом: зафиксируем некоторый задающий сигнал $u \in U$ и рассмотрим для него отображение f_u . Тогда можно принять этот вход за внешние начальные условия и исключить его из множества входных сигналов. При этом множество входов будут составлять только первичные параметры системы.

Таким образом, в работе предлагается использовать в качестве возмущающих воздействий не сигналы u , а изменение значений первичных параметров системы X . Подобное представление входного множества отличается от представлений (по А. М. Ляпунову). В данном случае за начальные условия принимаются не значения параметров системы, рассматриваемой в некотором свободном движении, а внешний сигнал $u \in U$, вносящий возмущение в движение системы при заданном значении α .

Преобразуем выходное множество. Учитывая, что при решении задач параметрического синтеза и диагностирования ЭТС обычно используются не просто переходные функции, годографы или фазовые траектории, а оценки этих функций, то есть показатели качества, введем следующее отображение.

Пусть имеется множество выходных сигналов системы $D_Z \subset D$, где $D_Z = \{Z\}$ и семейство множеств оценок выходных сигналов $D_Y \subset D$, где $D_Y = \{Y\}$. Тогда между ними можно определить множество отображений $F: D_Z \rightarrow D_Y$. При этом задание оценки выходного сигнала сводится к выбору отображения $f_j \in F$, $f_j: D_Z \rightarrow \{Y_j\}$. Рассмотрим связь полученных входного и выходного множеств, то есть построим отображение, ставящее каждому элементу входного множества элемент выходного множества.

В общем случае каждый первичный параметр ЭТС $X_i \in X$ влияет на выходной сигнал Z через некоторую координатную функцию ϕ_u^i отображения ϕ_u . Окончательный результат его действия на

сигнал Z будет определяться по совокупному влиянию через все координатные функции. Таким образом, отображение φ_u можно представить в виде некоторой комбинации координатных функций φ_u^i , причем каждая из них есть отображение:

$$\varphi_u^i: X_i \times Z_i^v \times \mathbf{u} \rightarrow Z_i,$$

где Z_i^v — семейство множеств сигналов Z_i^v , посредством которых координатная функция φ_u^i сопрягается с другими координатными функциями отображения φ_u ; Z_i — множество выходов i -й координатной функции.

Поскольку сигналы Z_i^v зависят от вектора первичных параметров $\mathbf{X} \subset D_X$ и вектора внешних начальных условий $\mathbf{u} \subset U$, то их можно определить как результат отображения $q_i: \mathbf{X} \times \mathbf{u} \rightarrow u_i$, которое будет определять вклад данного параметра в порожденную им координатную функцию, то есть $q(\mathbf{X}, \mathbf{u})$ есть функция распределения влияния вектора параметров по всем координатным функциям.

Обозначим отображение, определенное на множестве $D_X \times Z^v$, как φ_u^* . Для обоснования возможности представления отображения φ_u через координатные функции φ_u^i сформулируем следующее предположение: изображение φ_u состоит из связанных между собой координатных функций φ_u^i , если для любых векторов $Z \subset D_Z$ и $\mathbf{X} \subset D_X$ при заданном входном воздействии $\mathbf{u} \subset U$ выходной сигнал может быть представлен отображением

$$\mathbf{Z} = \varphi_u^*(\mathbf{X}, q(\mathbf{X}, \mathbf{u}), \mathbf{u}) \text{ или } \mathbf{Z} = \varphi_u(\mathbf{X}, \mathbf{u}).$$

Выполнение данного условия означает, что выходной сигнал должен быть представлен в виде c компонент вектора $Z = Z_1 \times \dots \times Z_c$.

Аналогичным образом отображение $f_j: D_Z \rightarrow Y_j$ можно представить в виде некоторой комбинации n компонент $f_i: Z_i \rightarrow Y_{ji}$ для случая, если справедливо предположение $\mathbf{Y} = f_i^*(\varphi_u^*(\mathbf{X}, q(\mathbf{X}, \mathbf{u}), \mathbf{u}))$ или $\mathbf{Y} = f_i(\mathbf{Z})$ где $f_i^* \in f_{i1} \times \dots \times f_{in}$.

Такое представление отображения f_i позволяет его рассматривать как функцию веса для каждого выхода координатных функций отображения φ_u в зависимости от поставленной задачи, а построенная функция $Z_u = f_i \varphi_u$ будет определять степень влияния каждого параметра на выбранную оценку исследуемого процесса при заданных внешних начальных условиях.

Введем критическую оценку $Y_{кр}$ степени влияния первичных параметров ЭТС на ее выходную переменную. В результате разобьем все множество этих параметров на два подмножества $\mathbf{X} = \mathbf{X}_ц \cap \mathbf{X}_{нц}$: целевых (определяющих достижение поставленной цели) параметров $\mathbf{X}_ц$, для каждого из которых $f_u(X_i) > Y_{кр}$, $i = 1, n$, и нецелевых (не определяющих) параметров $\mathbf{X}_{нц}$, для которых это неравенство может не выполняться. Параметры $\mathbf{X}_{нц}$ могут рассматриваться как внутренние начальные условия, для которых будет проводиться исследование. Среди целевых параметров $\mathbf{X}_ц$ ЭТС можно выделить множество настраиваемых параметров $\mathbf{X}_н$ (или \mathbf{X}_v). При этом все остальные первичные параметры будут составлять множество не настраиваемых параметров $\mathbf{X}_{нц}$ (или \mathbf{X}_c).

Введем отображение, определенное на множестве $\mathbf{X}_ц$. Пусть множество всех отображений, заданных на множестве значений первичных параметров D_X ЭТС, есть $\Phi_u = \{\varphi_u\}$. Рассмотрим подмножество $\Phi_{u\mathbf{X}_{нц}} \subset \Phi_u$, такое что $\Phi_{u\mathbf{X}_{нц}} = \{\varphi_{u\mathbf{X}_{нц}}\}$, где $\varphi_{u\mathbf{X}_{нц}}: \mathbf{X}_ц \rightarrow D_Y$.

Отображение $\varphi_{u\mathbf{X}_{нц}}$ устанавливает связь между целевыми параметрами системы и оценками ее исследуемых свойств. Оно может рассматриваться как форма представления информации о свойствах ЭТС для заданных внешних и внутренних начальных условий. При этом множество параметров $\mathbf{X}_{нц}$ интерпретируется как внутренние начальные условия, а возмущение со стороны окружающей среды при заданных начальных условиях рассматривается как внешние начальные условия.

Рассмотрим методику построения отображения $\varphi_{u\mathbf{X}_{нц}}$. Зададимся внутренними начальными условиями и подадим на вход ЭТС управляющее воздействие. На выходе системы будет наблюдаться сигнал \mathbf{Z} . Вид этого сигнала определяется внутренними и внешними начальными усло-

виями, а также значениями целевых параметров, то есть отображением $\Phi_{uX_{\text{нц}}}$. В зависимости от постановки задачи полученному выходному сигналу Z посредством отображения f_j ставится в соответствие некоторый вектор Y как элемент множества D_Y . При этом $Y \subset D_Y$. Оценкой состояния ЭТС может быть, например, какой-либо показатель качества ее работы.

Композиция отображений $\Phi_{uX_{\text{нц}}}$ и f_j будет определять перенос выбранной оценки в пространство целевых параметров, то есть каждому сочетанию значений целевых параметров соответствует одна и только одна точка рассматриваемого пространства. Положение этой точки относительно какого-либо базисного вектора будет определяться вкладом соответствующего целевого параметра в оценку исследуемого свойства ЭТС по схеме: координатная функция \rightarrow выход координатной функции \rightarrow оценка этого выхода при определенных внешних и внутренних начальных условиях.

Изменим значение вектора целевых параметров, то есть внесем в систему некоторое возмущение (по А. М. Ляпунову), и зафиксируем предыдущие внешние начальные условия. В соответствии с видом отображения $\Phi_{uX_{\text{нц}}}$ некоторым образом перераспределится между целевыми параметрами их вклад в суммарную оценку выходной переменной ЭТС. При этом будет получена новая точка в пространстве целевых параметров, причем ее относительное смещение будет определяться только изменением сочетания значений целевых параметров. Получив необходимый минимум точек, можно построить некоторую гиперповерхность (отображение $\Phi_{uX_{\text{нц}}}$), форма которой будет передавать поведение выбранного критерия в пространстве целевых параметров для заданных начальных условий. Используя методы аналитической геометрии, можно исследовать поведение вектора оценок выходного сигнала, а следовательно, и поведение интересующих свойств ЭТС в пространстве целевых параметров.

Таким образом, динамические свойства ЭТС могут быть описаны при помощи факторных моделей, то есть функций S_{α} , которые в зависимости от решаемой задачи характеризуют одно из следующих отображений:

$$\Phi_{uX_{\text{нц}}}^c : X_{\text{ц}} \rightarrow D_Z \text{ или } \Phi_{uX_{\text{нц}}}^g : X_{\text{ц}} \rightarrow D_Z^g;$$

$$t_{uX_{\text{нц}}}^c : X_{\text{н}} \rightarrow D_Z \text{ или } t_{uX_{\text{нц}}}^g : X_{\text{н}} \rightarrow D_Z^g;$$

$$\Phi_{uX_{\text{нц}}}^m : X_{\text{ц}} \rightarrow D_Y \text{ или } \Phi_{uX_{\text{нц}}}^j : X_{\text{ц}} \rightarrow D_Y^j;$$

$$t_{uX_{\text{нц}}}^m : X_{\text{н}} \rightarrow D_Y \text{ или } t_{uX_{\text{нц}}}^j : X_{\text{н}} \rightarrow D_Y^j.$$

$$\text{Здесь } D_Z = \{D_Z^1, D_Z^2, \dots, D_Z^g, \dots, D_Z^c\}, \quad D_Y = \{D_Y^1, D_Y^2, \dots, D_Y^j, \dots, D_Y^m\}.$$

На рис. 1 на основе введенных отображений приведены взаимосвязи между внутренними и выходными параметрами ЭТС, а также параметрами внешних воздействий на систему, определяющие множество $V = \{v\}$, $v = (v_1, v_2, \dots, v_p, \dots, v_f)$.

Аналогичным образом могут быть построены функции S_{α} , которые отображают допустимую область D_Y пространства параметров R^m в допустимую область M_Y пространства параметров R^n , то есть $\Phi^m : D_Y \rightarrow M_Y$, допустимую область D_Z^v пространства параметров R^c в допустимую область M_Y^v пространства параметров R^c , то есть $\Phi^c : D_Z^v \rightarrow M_Y^v$, а также область работоспособности G пространства параметров R^n в допустимую область D_Z^v пространства параметров R^c , то есть $\Phi^n : G \rightarrow D_Z^v$.

Необходимые условия построения факторных моделей. Рассмотрим необходимые условия построения функций S_{α} . Область их использования зависит от возможности построения геометрического образа ЭТС, что равносильно возможности построения отображения $\Phi_{uX_{\text{нц}}}^m : X_{\text{ц}} \rightarrow D_Y$ для заданных внешних $u \subset U$ и внутренних $X_{\text{нц}} \subset D_X$ начальных условий. Исходя из условия существования отображения $\Phi_{uX_{\text{нц}}}^j$, можно сформулировать требования: для множества значений вектора целевых параметров $X_{\text{ц}}$; множества оценок D_Y ; внешних начальных условий u ; внутренних начальных условий $X_{\text{нц}}$.

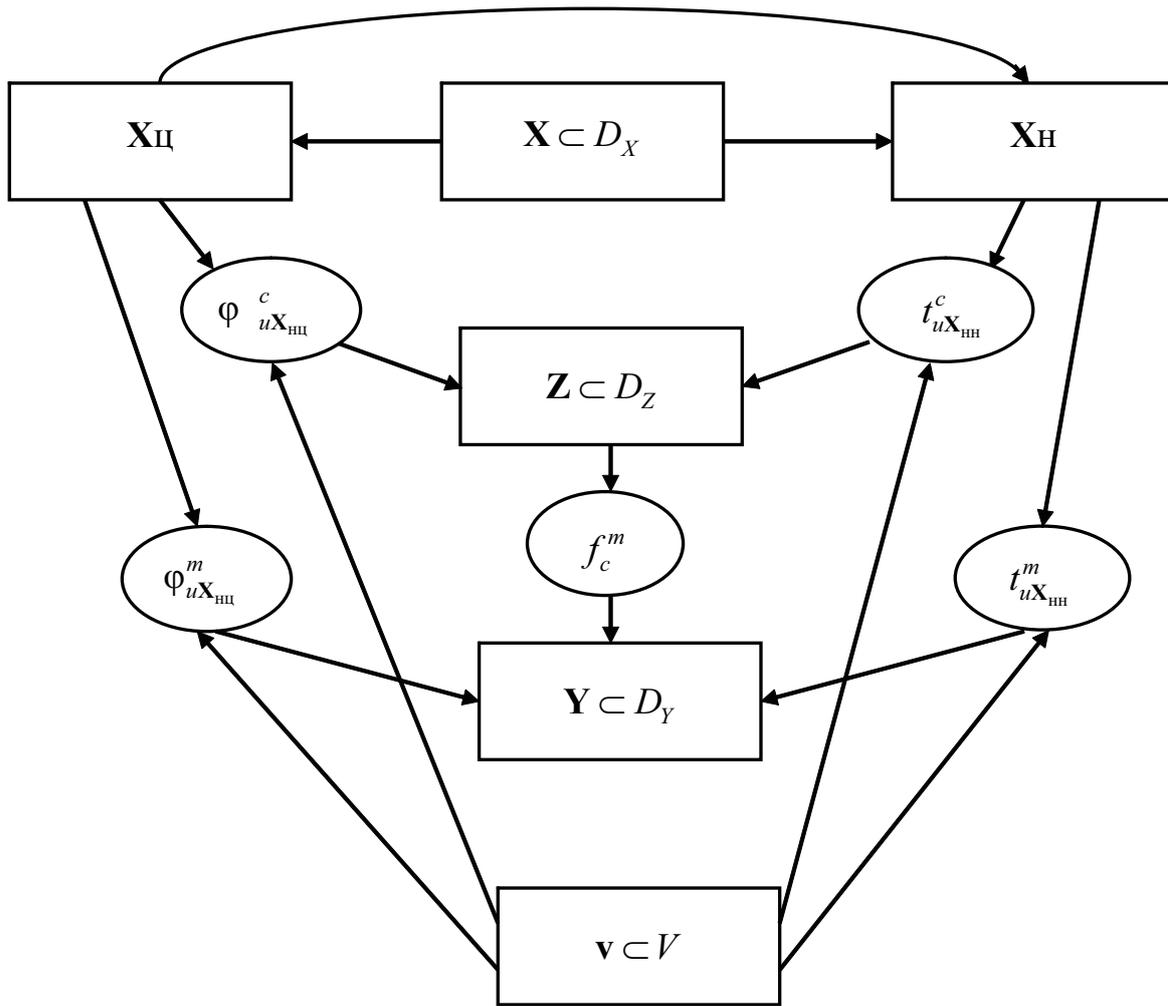


Рис. 1. Взаимосвязь между множествами внутренних и выходных параметров ЭТС

Отображение $\varphi_{uX_{\text{ц}}}^j$ существует в том случае, если может быть построена композиция отображений $f_j \cdot \varphi_{uX_{\text{ц}}}$. Область применения функций S_a полностью зависит от ограничений, которые накладываются на существование отображений f_j и $\varphi_{uX_{\text{ц}}}$ для заданных внешних $u \subset U$ и внутренних $X_{\text{ц}} \subset D_X$ нормальных условий, причем область значений отображения $\varphi_{uX_{\text{ц}}}^j$ должна совпадать с областью определения отображения $f_j: \forall X \in D_X$ при заданных $u \subset U, X_{\text{ц}} \subset D_X$. При этом $\varphi_{uX_{\text{ц}}}^j = f_j \cdot \varphi_{uX_{\text{ц}}} \Leftrightarrow \exists \varphi_{uX_{\text{ц}}}, \exists f_j$.

Рассмотрим условия реализуемости отображения $\varphi_{uX_{\text{ц}}}$. Условия, при которых невозможно существование рассматриваемого отображения $\varphi_{uX_{\text{ц}}}: X_{\text{ц}} \rightarrow D_Y$, определяются физической реализуемостью его компонентов. При этом возможны следующие варианты:

1) имеются такие недопустимые значения вектора целевых параметров, для которых не существует выходного сигнала Z :

$$(\forall X_{\text{ц}} \subset D_X, \exists Z \subset D_Z: X \rightarrow D_Y), \Rightarrow \exists X_{\text{ц}} \subset D_X: \forall Z \subset D_Z, X \rightarrow D_Y.$$

Отсюда следует ограничение, которое накладывается на множество $X_{\text{ц}}$:

$$X_{\text{ц}} = \{X: \varphi_{uX_{\text{ц}}}(X) = Z\}; Z \subset D_Z.$$

Это ограничение определяет работоспособное состояние ЭТС;

2) выполняется одно из двух условий:

$$\begin{aligned} & (\mathbf{X} \in \mathbf{X}_\alpha : \mathbf{Z}_1 = \varphi_{u\mathbf{X}_\alpha}(\mathbf{X}), \mathbf{Z}_2 = \varphi_{u\mathbf{X}_\alpha}(\mathbf{X}) \Rightarrow \mathbf{Z}_1 = \mathbf{Z}_2), \\ & \exists \mathbf{X} \in \mathbf{X}_\alpha : \mathbf{Z}_1 = \varphi_{u\mathbf{X}_\alpha}(\mathbf{X}), \mathbf{Z}_2 = \varphi_{u\mathbf{X}_\alpha}(\mathbf{X}) \Rightarrow \mathbf{Z}_1 \neq \mathbf{Z}_2. \end{aligned}$$

В общем случае всегда возможна следующая ситуация: $\exists \mathbf{X}_1 \rightarrow \mathbf{Z}_1, \mathbf{X}_2 \rightarrow \mathbf{Z}_2, \Rightarrow \mathbf{Z}_1 \neq \mathbf{Z}_2$, и избежать такого явления можно только при наличии ряда ограничений:

- вектор целевых параметров должен быть наблюдаем в любой точке множества \mathbf{X}_α ;
- исследуемая ЭТС должна быть «грубой», то есть малые изменения параметров не должны существенно изменять характер движения системы или, что то же самое, топологическая структура фазовых траекторий не меняется при малых изменениях дифференциальных уравнений.

Рассмотрим условия существования отображения f_j . Существование данного отображения выдвигает требования к множеству D_Z , которые должны быть такими, чтобы

$$\forall \mathbf{Z}_1, \mathbf{Z}_2 \in D_Z \text{ и } \mathbf{Z}_1 \neq \mathbf{Z}_2, \Rightarrow f_j(\mathbf{Z}_1) = f_j(\mathbf{Z}_2),$$

то есть оценки должны быть однозначными.

Требования к внешним начальным условиям $\mathbf{Z} \subset D_Z$

Задание внешних начальных условий при детерминированном возмущении требует конгруэнтности кривых вектора возмущений. Это условие значительно слабее принятого в теории автоматического управления требования эталонных возмущений — единичного скачка, импульсной функции или синусоидального сигнала. Необходимым условием является требование того, чтобы функция S_α строилась при каком-то одном, наиболее характерном для условий работы исследуемой ЭТС возмущении.

При наличии внешних начальных условий случайной природы следует использовать методы теории случайных процессов для оценки вероятностных характеристик возмущения и стабильность этих оценок принимать в качестве требований к внешним начальным условиям.

Требования к внутренним начальным условиям $\mathbf{X}_\alpha \subset D_X$

Задание внутренних начальных условий не означает обязательную стабильность значений первичных параметров ЭТС. В общем случае единственным условием, которое накладывается на значения параметров \mathbf{X}_α , является требование конгруэнтности кривых, описываемых вектором \mathbf{X}_α при определении каждой точки функции S_α .

Поясним сформулированное условие на примере ЭТС с переменными параметрами. Пусть система описывается следующим линейным дифференциальным уравнением

$$\begin{aligned} & \frac{d^n Z(t; -t_0)}{dt^n} + c_1(t) \frac{d^{n-1} Z(t; -t_0)}{dt^{n-1}} + \dots + c_n(t) Z(t; -t_0) = \\ & = \left[b_0(t) \frac{d^m}{dt^m} + b_1(t) \frac{d^{m-1}}{dt^{m-1}} + \dots + b_m(t) \right] \cdot 1(t - t_0), \end{aligned}$$

где t_0 — начальный момент приложения возмущающего воздействия.

Решение подобных уравнений при подаче на вход системы единичного скачка:

$$Z(t; -t_0) = \int_{t_0}^t Z_n(t; -\sigma_{n-1}) d\sigma_{n-1} \int_{t_0}^{\sigma_{n-1}} \dots \int_{t_0}^{\sigma_2} Z_2(\sigma_2; -\sigma_1) \cdot Z_1(\sigma_1; -t_0) d\sigma_1$$

может мажорироваться следующим выражением:

$$\begin{aligned} |Z(t; -t_0)| & = \left| \int_{t_0}^t Z_2(t; -\sigma_{n-1}) Z_1(\sigma_1; -t_0) d\sigma \right| \leq m_1 m_2 \int_{t_0}^t e^{-k_2(t-\sigma)} \cdot e^{-k_1(t-\sigma)} d\sigma = \\ & = m_1 m_2 \left(e^{-k_1(t-\sigma)} - e^{-k_2(t-\sigma)} \right) / (k_2 - k_1), \end{aligned}$$

где m_1, m_2, k_1, k_2 — некоторые постоянные коэффициенты.

В результате семейство переходных характеристик можно минорировать определенной функцией, например показательной, и оценку качества ЭТС определять по минорирующей кривой.

Таким образом, нестабильность значений параметров исследуемой системы при построении функции S_α может рассматриваться как некоторое «шумовое поле», которое накладывается на прохождение входного сигнала $f_j \in F$.

Основные особенности построения функций S_α для описания свойств ЭТС можно свести к следующим требованиям:

- построение функций может проводиться только для множества значений вектора целевых параметров, в котором ЭТС сохраняет работоспособное состояние;
- вектор целевых параметров должен быть наблюдаем;
- исследуемая ЭТС должна быть «грубой» (к таким системам относится большинство используемых на практике систем);
- оценки выходных сигналов ЭТС должны быть однозначными;
- построение функций S_α следует проводить для заданных внешних и внутренних начальных условий;
- кривые, описываемые векторами $Z \in D_Z$ и $X_{\text{инт}} \subset D_X$, при определении каждой точки функции S_α должны быть конгруэнтны между собой;
- функции S_α не могут быть использованы для отображения свойств ЭТС, у которых не существует однозначной оценки выходного сигнала.

Особенности отображения свойств ЭТС систем полиномиальными функциями. К основным задачам анализа и синтеза ЭТС, учитывающих параметрическую нестабильность первичных параметров, относятся задачи параметрического синтеза и контроля состояния ЭТС в процессе эксплуатации. В рамках этих задач отображение статических и динамических свойств ЭТС функциями вида S_α требуется прежде всего при решении задач построения границы области работоспособности и выбора оптимальных значений целевых параметров системы. Анализ исследования разнообразных ЭТС показал, что с этой целью в качестве факторных моделей наиболее удобно и практически целесообразно использование полиномиальных (регрессионных) моделей, которые могут быть построены на базе методов теории планирования эксперимента [2]. К достоинствам таких моделей следует отнести: универсальность, которая позволяет использовать модели для широкого класса ЭТС; удобство их практического применения и простоту анализа степени влияния того или иного первичного параметра на выходную переменную или показатель качества системы; достаточно высокую точность, которая может быть оценена и при необходимости повышена за счет увеличения степени полинома.

К первичным параметрам ЭТС относятся геометрические размеры элементов ЭТС, сопротивления резисторов, емкости конденсаторов, индуктивности катушек, функции от перечисленных параметров, имеющие определенный физический смысл — коэффициенты усиления, постоянные времени и т. д.

Выходные параметры характеризуют свойства ЭТС, интересующие потребителя. Они, как отмечалось, представляют собой параметры-функционалы, то есть функциональные зависимости фазовых переменных (токи, напряжения, угловые скорости и т. п.), и параметры, являющиеся граничными значениями диапазонов внешних переменных, в которых сохраняется работоспособность ЭТС. К выходным параметрам на стадии параметрического синтеза относятся показатели назначения (производительность, время переходного процесса, удельный расход электроэнергии и т. п.), параметрической надежности (вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, запас работоспособности и т. п.) и экономичности [3].

Выделим виды эксперимента, которые можно использовать при исследовании и оптимизации свойств ЭТС.

Натурный эксперимент. Предполагает проведение эксперимента на реальной ЭТС. Это возможно как на стадии производства, когда производится наладка системы, так и на стадии эксплуатации. Достоинством эксперимента является то, что математическая модель, полученная на его основе, учитывает реальные физико-химические процессы, протекающие в системе, и тем самым характеризуется высокой потенциальной адекватностью. Для удобства проведения натурного эк-

сперимента следует использовать разработанный автором прибор, обеспечивающий возможность варьирования параметров элементов, выбранных в качестве факторов, без нарушения монтажа схемы [4; 5, с. 64].

Математический эксперимент. Предполагает проведение эксперимента на математической модели ЭТС. Этот эксперимент может быть реализован на всех стадиях исследования, оптимизации и диагностирования ЭТС. Однако в силу того, что он характеризуется меньшей потенциальной адекватностью по сравнению с натурным экспериментом, его целесообразно использовать в основном лишь на стадии проектирования.

С точки зрения организации эксперимента преимущество имеет активный эксперимент, который выполняется по заранее составленному плану и позволяет существенно упростить процесс получения математической модели по сравнению с пассивным экспериментом.

Выделим основные этапы использования теории планирования эксперимента для отображения свойств ЭТС.

Выбор плана эксперимента. Под планом эксперимента обычно понимают совокупность данных, определяющих число, условия и порядок реализации опытов [2]. Для установления функциональной зависимости отклика Y от факторов X используется прием адекватного представления функции отклика $Y = \varphi(X)$ некоторой приближенной аналитической моделью $\hat{\varphi}(X)$. Наибольшее распространение для построения аналитических моделей получило многочленное приближение $\hat{\varphi}(BX)$, где B — вектор коэффициентов приближающего полинома, которые определяются с помощью метода наименьших квадратов. Для построения аналитических моделей необходимо провести ряд опытов и расчетов в определенных точках факторного пространства параметров $X_i, i = \overline{1, n}$.

Выбор оптимального плана эксперимента зависит от вида аппроксимирующей зависимости $\hat{\varphi}(X)$, числа факторов n , а также от критерия оптимальности, предъявляемого к этому плану. Опыт исследования разнообразных ЭТС показывает, что для абсолютного большинства решаемых задач оказывается достаточным ограничиться представлением функции отклика полиномом не выше второго порядка [2]. Например, для решения задач параметрического синтеза ЭТС целесообразно использовать разработанный автором метод сужающихся областей [6, с. 103–111; 7, с. 34–41], который предполагает применение факторных моделей для аппроксимации отдельных гиперповерхностей, составляющих область работоспособности. Вместе с тем каждая отдельно взятая гиперповерхность в общем случае представляет собой гиперповерхность второго порядка. Если вид модели заранее неизвестен, следует воспользоваться принципом постепенного усложнения вида моделей [2] и использовать первоначально линейное приближение.

Известно большое разнообразие планов первого и второго порядка. При выборе того или иного плана, в зависимости от вида ЭТС и решаемой задачи, целесообразно воспользоваться таблицей сравнительной характеристики планов, приведенной в работе [2].

При практической реализации планов первого и второго порядков появляются задачи выбора центра планирования, определения шагов варьирования ΔX_i по каждому фактору, установления общего числа опытов, определения порядка реализации плана, то есть последовательности проведения опытов. Для решения задач параметрического управления состоянием ЭТС [3] центр выбранного плана следует совместить с центром области действия, то есть с центром области D_x , которая также определит диапазон варьирования факторов. Рекомендации по выбору шагов варьирования факторов ЭТС изложены в работе [2].

Проверка адекватности аналитической модели. Полученную математическую зависимость, связывающую первичные и выходные параметры ЭТС, необходимо проверить на адекватность действительным значениям, полученным в результате опытов и расчетов. В том случае если модель окажется неадекватной, необходимо продолжить эксперимент и провести дополнительную серию опытов (расчетов) для определения коэффициентов новой модели, с целью получения более полной математической зависимости $Y = \varphi(X)$. При этом, как правило, осуществляется переход от планов первого порядка к планам второго порядка. Проверка адекватности эксперименталь-

но полученных полиномиальных моделей производится с помощью известных статистических процедур [2]. При выборе уровня значимости для оценки полученной модели следует обращать внимание на содержание решаемой задачи. Так, например, если аналитическая зависимость требуется лишь для определения первой точки, принадлежащей области работоспособности, то нет необходимости в построении модели высокой степени точности.

В том случае если отклик определяется в каждом опыте без ошибки, например при проведении математического эксперимента и расчетах на ЦВМ, появляется сложность в проверке адекватности полученной модели, связанная с отсутствием дисперсии воспроизводимости. В настоящее время известно несколько специальных приемов, позволяющих выйти из этого положения. Наиболее простым из них можно считать введение искусственной дисперсии опытов как доли нулевого коэффициента модели. Если полученная полиномиальная функция является полиномом второго порядка, но не адекватна уравнению $Y = \varphi(X)$, целесообразно воспользоваться специально разработанными процедурами, не требующими повышения порядка полученного полинома.

При использовании полиномиальных функций для решения задач, связанных с определением состояния ЭТС, построением границы области работоспособности и т. п., точность полученных моделей может быть оценена при помощи разработанной автором методики [3]. Накопленный опыт использования упрощенных полиномиальных уравнений для решения задач анализа и синтеза разнообразных по своему функциональному назначению и структуре ЭТС показывает, что они позволяют успешно решать поставленные задачи при исследовании ЭТС как в статических, так и в динамических режимах их работы, а в ряде случаев такие модели являются незаменимыми и единственно возможными.

Список литературы

1. Месарович М. Общая теория систем: Математические основы / М. Месарович, Я. Такаха-ра. — М.: Мир, 1978. — 312 с.
2. Саушев А. В. Планирование эксперимента в электромеханике / А. В. Саушев. — СПб.: СПГУВК, 2008. — 216 с.
3. Саушев А. В. Методы управления состоянием электротехнических систем / А. В. Саушев. — СПб.: СПГУВК, 2004. — 126 с.
4. А. с. 1206754. Имитатор режимов контроля технического объекта // Бюл. изобр. — 1986. — № 3.
5. Саушев А. В. Микропроцессорный автомат для управления состоянием электротехнических устройств транспортных систем / А. В. Саушев // ТРАНСКОМ-94: материалы Всерос. науч.-техн. конф. — СПб., 1994.
6. Саушев А. В. Оптимизация судовых электротехнических устройств на максимум запаса работоспособности: сб. науч. тр. / А. В. Саушев; ЛИВТ. — Л.: ЛИВТ, 1984.
7. Саушев А. В. Аналитическое описание областей работоспособности электротехнических систем / А. В. Саушев // Журнал университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2009. — Вып. 4.

УДК 621.436.03(031)

А. Ю. Чистяков,
канд. техн. наук,
СПбГМТУ;Г. Б. Горелик,
д-р техн. наук, профессор,
Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ)

УЧЕТ РАЗРЫВОВ СПЛОШНОСТИ В СИСТЕМЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ НА ЧАСТИЧНЫХ РЕЖИМАХ

DISCONTINUITY ACCOUNTING IN THE HIGH PRESSURE SYSTEM IN MODELLING OF THE DIESEL FUEL EQUIPMENT OPERATING PROCESSES ON PARTIAL RATES

Характерным явлением при работе дизельной топливной аппаратуры на частичных режимах является наличие разрывов сплошности (паров топлива) в системе высокого давления. Пренебрежение наличием разрывов сплошности при математическом моделировании рабочих процессов топливной аппаратуры может привести к значительному отклонению моделируемых параметров от реальных. В работе проведен анализ используемых в настоящее время методик учета разрывов сплошности в системе высокого давления. Предложена методика учета разрывов сплошности с последовательным заполнением свободных объемов в трубопроводе высокого давления.

Operating of the diesel fuel equipment on partial rates is characterized by presence of discontinuity (fuel vapors) in the high pressure system. The neglect of discontinuity in mathematical modelling of the fuel equipment operating processes can lead to a significant deviation of modeling parameters from actual one. The analysis of current discontinuity methods in the high pressure system is carried out in the work. The method of the discontinuity accounting with consecutive free volume filling in the high pressure pipeline is suggested.

Ключевые слова: топливная аппаратура, математическая модель, рабочие процессы, разрывы сплошности, свободные объемы, пары топлива, система высокого давления.

Key words: the fuel equipment, mathematical model, operating processes, discontinuity, free volumes, fuel vapors, high pressure system.



ХАРАКТЕРНЫМ явлением при работе дизельной топливной аппаратуры (ТА) на частичных режимах является наличие разрывов сплошности в системе высокого давления (СВД). Экспериментальное подтверждение наличия разрывов сплошности в СВД ТА отражено в [1]. Здесь же проведены: анализ распределения газовой фазы по объему СВД, анализ влияния разрывов сплошности на протекание рабочих процессов топливной аппаратуры (РПТА), установлена связь между величиной остаточных свободных объемов в СВД и режимами работы ТА.

Пренебрежение наличием разрывов сплошности в СВД при расчетных исследованиях РПТА может привести к значительным отклонениям моделируемых параметров от реальных. Так, величина цикловой подачи топлива может отличаться до 100 % и более [1]. Наличие разрывов сплошности в СВД приводит к уменьшению цикловой подачи и угла опережения впрыскивания, наблюдаются более резкие колебания давлений топлива в СВД. При большом объеме паров топлива существенно изменяются гидродинамические процессы в СВД. Более того, влияние наличия разрывов сплошности в СВД на РПТА на частичных режимах вообще неоднозначно [1].

Имеется несколько подходов к учету разрывов сплошности при математическом моделировании (ММ) РПТА. Метод Пугачева–Горелика [2] учитывает наличие свободных остаточных объемов в СВД следующим образом: по заданной величине условного отрицательного давления

производится определение величин паров в объемах штуцера насоса, форсунки и трубопровода высокого давления (ТВД), причем объем паров в ТВД равномерно распределяется по объемам штуцера и форсунки пропорционально их объемам. Давление топлива в СВД принимается условно равным нулю. После заполнения остаточных свободных объемов в штуцере насоса топливо поступает в ТВД, где разрывы сплошности отсутствуют и движение топлива описывается известным телеграфным уравнением. Подошедшая к форсунке волна подачи расходуется сначала на заполнение свободных остаточных объемов в подыгольной полости форсунки и только после этого происходит повышение давления и впрыскивание.

В данном случае не учитывается влияние разрывов сплошности на характер волнового движения топлива в ТВД, то есть после заполнения свободных остаточных объемов в штуцере насоса волна подачи распространяется в ТВД таким же образом, как и на режимах с положительным остаточным давлением. Хотя для близноминальных режимов и частичных режимов с полным отсутствием разрывов сплошности или небольшим содержанием газовой фазы такое упрощение вполне обосновано. В работе [1], помимо разрывов сплошности в объемах штуцера насоса и форсунки, также производится учет наличия и заполнения разрывов сплошности в ТВД. В начале расчета РПТА величина разрывов сплошности в СВД задается ориентировочно или исходя из результатов расчета предыдущего цикла впрыскивания, она пропорционально распределяется по объему СВД.

Неустановившееся движение топлива в ТВД моделируется двумя волнами давления (прямой и отраженной), движущимися навстречу друг другу со скоростью звука в топливе, а при наличии разрывов сплошности в ТВД производится последовательное заполнение остаточных свободных объемов топливом, подаваемым топливным насосом высокого давления (ТНВД), причем до полного устранения разрывов сплошности давление топлива в заполняемом объеме принимается равным нулю.

Данная методика базируется на математической модели топливной аппаратуры, разработанной И. В. Астаховым, а потому имеет ряд особенностей: величина разрывов сплошности в текущем сечении на данном шаге интегрирования определяется по балансу импульсов прямой и обратной волн давления, а описание нестационарного движения топлива в ТВД является ступенчатым. Указанные особенности усложняют реализацию как самой методики, так и математической модели ТА в целом.

Л. В. Грехов в работе [3] указывает на возможность использования для моделирования поведения волн в двухфазной среде простой дисперсионно-политропной модели на основе решения уравнения Рэлея вместо метода Л. Н. Голубкова, базирующегося больше на экспериментальных данных. При этом двухфазная среда представляется как однофазная с переменными характеристиками: сжимаемостью, плотностью и скоростью звука в топливе. К достоинствам метода следует отнести возможность простого учета постепенного растворения газовой фазы в топливе при повышении давления (газовая фаза сохраняется до давлений 10–12 МПа). Основными недостатками данного метода являются сложность экспериментального определения значения показателя политропы, а также малая применимость для режимов с глубокими разрывами сплошности.

В связи с необходимостью более точного учета разрывов сплошности в СВД при исследовании РПТА на частичных режимах нами предложена методика учета разрывов сплошности с последовательным заполнением свободных объемов в ТВД, базирующаяся на методе Л. Н. Голубкова. В качестве базовой принята ММ ТА, разработанная Б. П. Пугачевым, уточненная и дополненная Г. Б. Гореликом [2] для исследования процессов топливоподачи на частичных режимах. Данная ММ ТА представляет собой так называемую краевую задачу Коши, а именно: в ее основе лежит дифференциальное уравнение неустановившегося движения топлива в ТВД, граничные условия слева — система дифференциальных уравнений, описывающих процессы в ТНВД, а справа — система дифференциальных уравнений у форсунки. Функциональная схема ММ ТА, представленная на рис. 1, определяет взаимодействие граничных условий по концам ТВД с решением уравнения неустановившегося движения топлива в ТВД.

Решение дифференциального уравнения движения топлива в ТВД осуществляется конечно-разностным методом. Формирование волны давления осуществляется путем решения системы дифференциальных уравнений, описывающих процессы в ТНВД. Граничные условия со стороны форсунки определяются решением соответствующей системы дифференциальных уравнений, описывающих процессы в форсунке. Решение производится прогонкой в данном временном слое (при конкретном значении угла поворота кулачкового вала ТНВД). Далее решение повторяется в новом временном слое.

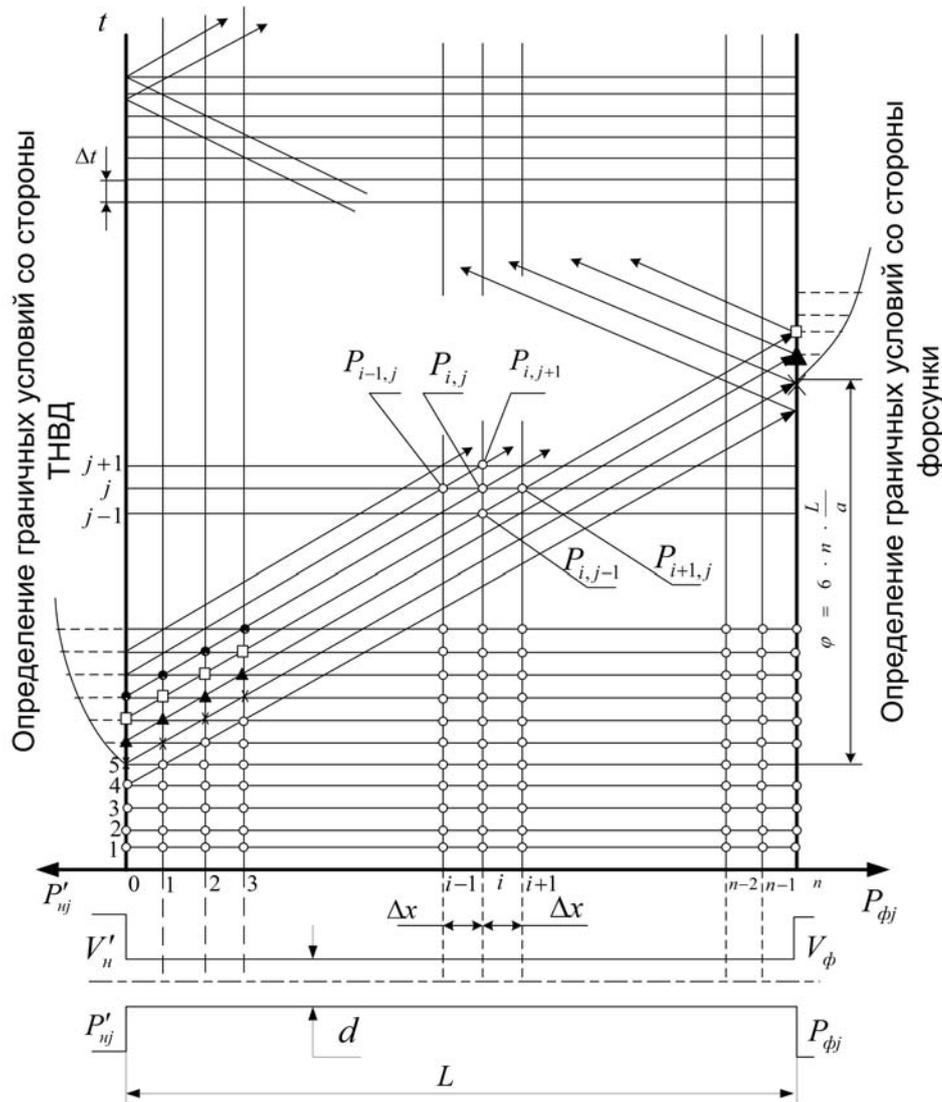


Рис. 1. Функциональная схема ММ ТА применительно к краевой задаче Коши

Для описания нестационарного движения потока топлива в ТВД используется дифференциальное уравнение второго порядка в частных производных (так называемое телеграфное уравнение), полученное путем преобразования системы уравнений Навье–Стокса при принятии ряда упрощений [2]

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} - \frac{1}{a^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2} - \frac{\lambda}{a^2 d} \cdot |\omega| \cdot \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

где ω — скорость топлива в ТВД; x — координата перемещения; t — координата времени; a — скорость распространения звука в топливе; d — внутренний диаметр ТВД; λ — коэффициент гид-

равлического сопротивления единицы длины ТВД. Для решения уравнения применен конечно-разностный метод с использованием прямоугольных сеток.

С физической точки зрения уравнение следовало бы решать относительно давления, так как в ТВД происходит передача волны давления от ТНВД к форсунке и обратно. Скорость же учитывает только перемещение частиц топлива. Однако проверка адекватности модели показала хорошую сходимость расчетов с экспериментом [4]. Определение величины давления на любом участке ТВД в любой момент времени не представляет сложности и производится по известному уравнению неразрывности. Таким образом, использование решения телеграфного уравнения относительно скорости вызвано необходимостью учета разрывов сплошности по длине ТВД. При решении уравнения относительно давления такой учет значительно усложняется.

При решении уравнения (1) конечно-разностным методом с использованием прямоугольных сеток длина ТВД L делится на ni равных отрезков длиной Δx , где Δx — путь прохождения волны со скоростью звука в топливе за интервал времени Δt , именуемый шагом интегрирования. Количество отрезков ТВД при разбиении его на конечное количество участков определяется по формуле

$$ni = \frac{L}{\Delta x} = \frac{L}{a \cdot \Delta t} = \frac{L \cdot 6 \cdot n_n}{a \cdot \Delta \varphi},$$

где n_n — частота вращения кулачкового вала ТНВД; $\Delta \varphi$ — угол поворота кулачковой шайбы. Система уравнений граничных условий у ТНВД составлена исходя из условий неразрывности потока в полостях насоса и штуцера с учетом сжимаемости топлива, процессы у форсунки рассматриваются аналогично.

Методика учета разрывов сплошности в СВД с учетом распределения определенной их части по длине ТВД описывается следующим алгоритмом. Величина разрывов сплошности в СВД в начале следующего цикла впрыскивания определяется из баланса расходов через ТНВД и форсунку предыдущего цикла

$$P_{\text{ост}2} = P_{\text{ост}1} + \Delta P_{\text{ост}},$$

где $P_{\text{ост}2}$ и $P_{\text{ост}1}$ — величины остаточного давления в СВД текущего и начального циклов соответственно, $\Delta P_{\text{ост}}$ — приращение величины остаточного давления в СВД в текущем цикле.

Приращение величины остаточного давления в СВД определится исходя из баланса расходов топлива через форсунку и нагнетательный клапан (НК) ТНВД:

$$\Delta P_{\text{ост}} = \frac{V_{k1} - (g_{\text{ц}}/\rho)}{\alpha \cdot V_{\text{об}}},$$

где α — коэффициент сжимаемости топлива; $V_{\text{об}}$ — общий объем СВД;

ρ — плотность топлива; $g_{\text{ц}}$ — массовый расход топлива через форсунку; V_{k1} — объемный расход топлива через нагнетательный клапан (НК).

Получение значения $P_{\text{ост}2} \leq 0$ означает наличие разрывов сплошности в СВД, поэтому для очередного цикла оно используется уже как условное отрицательное остаточное давление $P_{\text{у ост}}$, а начальное давление в СВД принимается равным нулю (при $P_{\text{ост}} \leq 0$ $P_{\text{у ост}} = P_{\text{ост}}$; $P_{\text{ост}} = 0$), что вполне обоснованно, так как при $P_{\text{ост}} \geq 0,1$ МПа свободные объемы в СВД отсутствуют [1]. Общий объем паров в СВД определится как $V_p = \alpha \cdot V_{\text{об}} \cdot |P_{\text{у ост}}|$.

Следует отметить, что $P_{\text{у ост}}$ используется для наглядного представления. Задание величины разрывов сплошности в СВД упрощает построение алгоритма расчета РПТА и позволяет отказаться от введения ступенчатых функций при моделировании, позволяет совмещать и сравнивать расходные характеристики насоса и форсунки при наличии разрывов сплошности и остаточного давления в СВД. При моделировании процессов топливоподачи величина $P_{\text{у ост}}$ непосредственно в расчетах не используется, но через нее определяется объем паров в СВД.

Объемы паров в штуцере насоса, форсунке и ТВД определяются следующим образом:

$$V_{Ph} = \left(\frac{V_P \cdot V_h}{V_{об}} \right) + (1 - K_{расп}) \cdot V_{Ptr}; \quad V_{Pf} = \frac{V_P \cdot V_f}{V_{об}}; \quad V_{Ptr} = \frac{V_P \cdot V_{tr} \cdot K_{расп}}{V_{об}}, \quad (2)$$

где $K_{расп}$ — экспериментальный коэффициент распределения паров. Величина $K_{расп}$ может изменяться в диапазоне от 0 до 1. Необходимость введения в расчет коэффициента распределения объясняется тем, что согласно экспериментальным исследованиям [1] определенная часть паров ТВД возникает в непосредственной близости от штуцера насоса и фактически может быть отнесена к объему штуцера. Остальная часть паров равномерно распределяется по объему ТВД и форсунки.

Полученный по формуле (2) объем паров в ТВД равномерно распределяется по его сечениям,

что подтверждено экспериментальными работами [1; 2] $V_{Ptrs}(i) = \frac{V_{Ptr}}{ni - 1}$.

При наличии разрывов сплошности в СВД в момент отрыва НК от седла начинается не вытеснение топлива из полости штуцера в объем ТВД, как это происходит при $P_{ост} > 0$, а заполнение свободных остаточных объемов в полости штуцера ТНВД. При этом на протяжении процесса заполнения давление топлива в полости штуцера ТНВД и начальном (нулевом) сечении ТВД равно нулю, волна подачи в начальном сечении ТВД отсутствует. Суммарный объем паров в штуцере насоса на текущем шаге определится как

$$V_{Ph,j} = V_{Ph,j-1} + \Delta V_{Ph,j},$$

где $V_{Ph,j}$, $V_{Ph,j-1}$ — суммарные объемы паров соответственно в штуцере насоса на текущем и на предыдущем шаге; $\Delta V_{Ph,j}$ — приращение объема паров в штуцере насоса на текущем шаге.

Приращение объема паров $\Delta V_{Ph,j}$ в штуцере насоса на очередном шаге производится по известным формулам [2].

После заполнения остаточных свободных объемов (то есть при $V_{Ph,j} \leq 0$) в штуцере насоса появляется давление топлива и соответственно волна подачи в начальном сечении ТВД

$$P_{h,j} = \frac{|V_{Ph,j}|}{\alpha \cdot V_h + \frac{f_t \cdot \Delta t}{\alpha \cdot \rho}},$$

где f_t — площадь проходного сечения ТВД. Давление топлива в начальном сечении ТВД с учетом гидравлических потерь на входе в ТВД определится как $P_{0,j} = P_{h,j} - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \omega_{0,j-1} \cdot (1 - \varphi_e)^2$, где φ_e — коэффициент местных гидравлических потерь.

Волна подачи в начальном сечении ТВД определится как $\omega_{0,j} = \omega_{1,j} + \frac{P_{0,j} - P_{0,j-1}}{\rho \cdot a}$.

Далее производится последовательное заполнение свободного объема в каждом сечении ТВД. При этом возможны следующие варианты заполнения свободного объема в текущем сечении подошедшей к нему волной подачи:

1. Величины волны подачи, подошедшей к текущему сечению на данном шаге интегрирования, недостаточно для полного восстановления сплошности. В этом случае волна подачи полностью расходуется на заполнение свободных объемов, поэтому скорость в этом сечении остается равной нулю ($\omega_{i,j} = 0$), а величина оставшихся незаполненных свободных объемов в текущем сечении

$$V_{Ptrs}(i) = V_{Ptrs}(i) - \omega_{i-1,j} \cdot f_t \cdot \Delta t.$$

В этом случае величина оставшихся свободных объемов переносится на следующий шаг интегрирования, где она может быть уменьшена или полностью устранена на последующих шагах.

2. Величины волны подачи, подошедшей к текущему сечению на данном шаге интегрирования, достаточно для восстановления сплошности. В этом случае $V_{Ptrs}(i) = 0$, а величина остаточ-

ной скорости топлива определяется по формуле $\omega_{i,j} = \omega_{i-1,j} - \frac{V_{P_{tr s}}(i)}{f_i \cdot \Delta t}$.

При этом сплошность топлива слева от очередного заполняемого свободного объема $V_{P_{tr s}}(i)$ восстановлена и расчет движения топлива производится по уравнению неустановившегося движения топлива (1).

Алгоритм заполнения разрывов сплошности по длине ТВД выглядит следующим образом:

— производится проверка наличия паров топлива в текущем сечении ТВД на текущем шаге интегрирования. Если $V_{P_{tr s}}(i) > 0$ (пары топлива имеются), необходимо произвести заполнение свободных объемов в текущем сечении ТВД;

— производится сравнение имеющегося свободного объема с подошедшей к текущему сечению ТВД волной подачи:

$$\Delta\omega = \omega_{i-1,j} - \frac{V_{P_{tr s}}(i)}{f_i \cdot \Delta t};$$

— если $\Delta\omega \geq 0$, то подошедшей волны подачи достаточно для устранения разрывов сплошности в текущем сечении, а потому $V_{P_{tr s}}(i) = 0$. Остаток волны подачи, оставшийся после заполнения свободных объемов определится как: $\omega_{i,j} = \Delta\omega$.

— если $\Delta\omega < 0$, то подошедшей волны подачи недостаточно для заполнения свободных объемов в текущем сечении ТВД, поэтому $\omega_{i,j} = 0$, а величина оставшегося незаполненным объема паров топлива определится как: $V_{P_{tr s}}(i) = |\Delta\omega| \cdot f_i \cdot \Delta t$.

Схемы заполнения разрывов сплошности и прохождения волны подачи по ТВД представлены на рис. 2 и 3.

Как видно из рис. 2 и 3 схема прохождения прямых и отраженных волн подачи принципиально отличается от рассмотренных выше вариантов. Прохождение прямой волны подачи возможно только в той части ТВД, где сплошность топлива уже восстановлена, то есть слева от заполняемого на текущем шаге интегрирования свободного объема. Достижение прямой волной подачи объема форсунки возможно лишь при восстановлении сплошности по всей длине ТВД. Аналогичным образом изменяется и схема прохождения отраженных (обратных) волн подачи. В случае отсутствия разрывов сплошности в ТВД формирование отраженной волны происходит в последнем сечении ТВД, а наложение прямых и обратных волн подачи впоследствии оказывает влияние на характер изменения давления в объеме форсунки и непосредственно на параметры процесса впрыскивания.

При наличии разрывов сплошности в ТВД продвижение волны подачи ограничено сечением, в котором на данном шаге интегрирования происходит заполнение свободных объемов, здесь же формируется отраженная волна подачи. Так как длина заполненной части ТВД оказывается меньше полной его длины (особенно на начальных этапах заполнения разрывов сплошности), следует ожидать некоторого искажения переднего фронта волны подачи по сравнению с начально заполненным ТВД и соответственно параметров процесса впрыскивания. Так в [1] именно наличием разрывов сплошности в ТВД объясняется резкое нарастание давления в объеме форсунки.

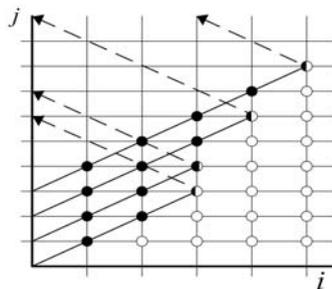


Рис. 2. Схема заполнения остаточных свободных объемов по длине ТВД
— — прямые волны; - - - отраженные волны

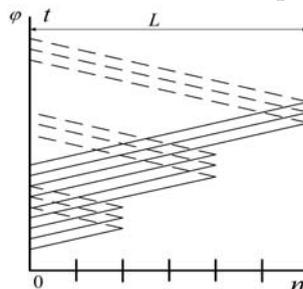


Рис. 3. Схема прохождения волн подачи по ТВД при наличии разрывов сплошности
— — прямые волны; - - - отраженные волны

После заполнения свободных остаточных объемов в конечном сечении ТВД производится заполнение паров в объеме форсунки аналогично заполнению паров в объеме штуцера насоса. Суммарный объем паров в объеме форсунки на текущем шаге $V_{Pf,j} = V_{Pf,j-1} + \Delta V_{Pf,j}$.

При восстановлении сплошности ($V_{Pf,j}(i) \leq 0$) вычисляется давление топлива в объеме фор-

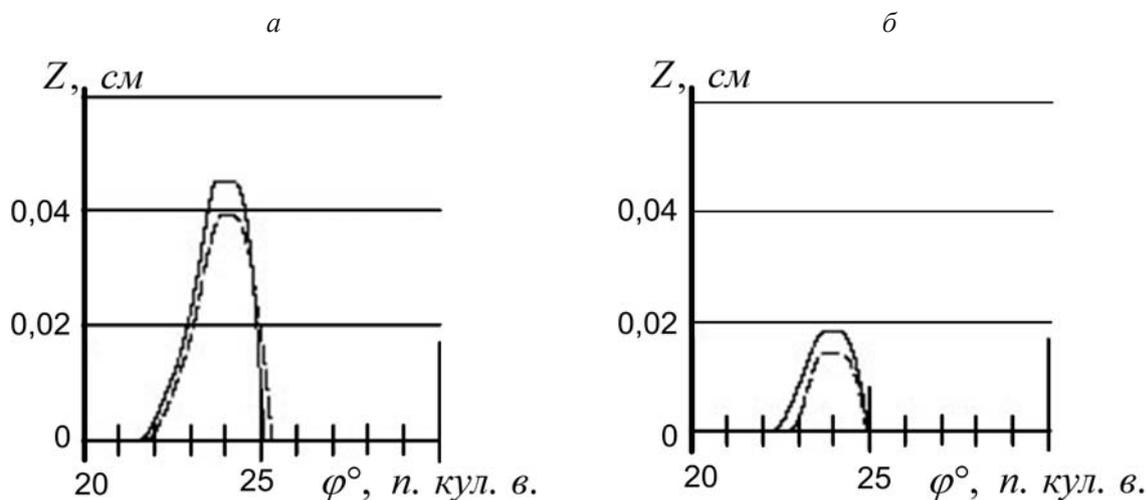
$$\text{сунки на текущем шаге } P_{f,j} = \frac{|V_{Pf,j}|}{\alpha \cdot V_f + \frac{f_t \cdot \Delta t}{\alpha \cdot \rho}}.$$

Для оценки влияния учета последовательного заполнения разрывов сплошности в ТВД на результаты расчета РПТА была проведена серия расчетов с учетом последовательного заполнения разрывов сплошности в ТВД и без (по методу Пугачева–Горелика) на примере ТА дизель-генератора ДГР 160/750 при работе на режиме холостого хода. Результаты представлены на рис. 4 и в табл. 1.

Как видно из рис. 4 и табл. 1 с увеличением глубины разрывов сплошности наблюдается нарастание скорости повышения давления перед форсункой, подтвержденное экспериментально в работе [1]. Это связано прежде всего с тем, что скорость прохождения прямых и отраженных волн подачи в топливе значительно превышает скорость последовательного заполнения остаточных свободных объемов в ТВД, что приводит к их наложению в переднем фронте волны подачи, то есть в непосредственной близости от текущего заполняемого свободного объема. По мере их заполнения и приближения переднего фронта волны подачи к форсунке наложение подходящих к текущему заполняемому свободному объему прямых и отраженных волн подачи образует ударный фронт, в результате чего повышение давления перед форсункой до максимального происходит почти мгновенно, тогда как при отсутствии учета заполнения разрывов сплошности в ТВД на том же режиме этот процесс длится 1–1,5° поворота кулачкового вала ТНВД. Следует отметить, что при глубоких разрывах сплошности в СВД, помимо увеличения скорости нарастания давления перед форсункой, возможно также и повышение максимального давления топлива.

Так как скорость заполнения свободных объемов в ТВД ниже скорости прохождения волн подачи в топливе, при учете последовательного заполнения свободных объемов в ТВД вполне закономерно и увеличение угла начала повышения давления перед форсункой. Однако из-за более резкого нарастания давления влияние на угол опережения подачи топлива менее заметно, хотя и возрастает по мере увеличения глубины разрывов сплошности.

В литературе отмечается, что наличие разрывов сплошности в СВД на частичных режимах может приводить не только к ухудшению, но на отдельных режимах и к улучшению показателей процесса впрыскивания вплоть до появления рекомендаций по искусственному созданию условий для образования паров топлива в СВД.



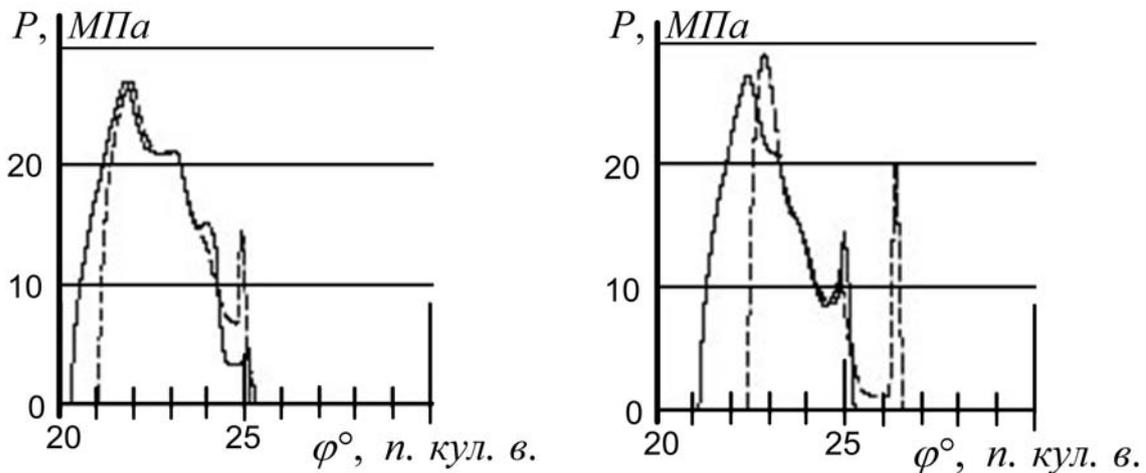


Рис. 4. Моделирование РПТА дизель-генератора ДГР 160/750 на режиме холостого хода ($h_a = 0,14$ см, $n = 382$ об/мин) с наличием разрывов сплошности в СВД:
 а, б — диаграммы движения иглы форсунки при значениях условного отрицательного остаточного давления -17 и -27 МПа соответственно;
 в, г — диаграммы изменения давления топлива у форсунки при значениях условного отрицательного остаточного давления -17 и -27 МПа соответственно;
 --- с учетом разрывов сплошности в ТВД; — — без учета разрывов сплошности

Так для режима с $P_{\text{y ост}} = -27$ МПа с учетом последовательного заполнения свободных объемов, несмотря на значительно меньшую величину цикловой подачи топлива, максимальное давление топлива у форсунки выше, чем на том же режиме, но с $P_{\text{y ост}} = -17$ МПа. Продолжительность впрыскивания также уменьшается. Отсюда можно предположить более благоприятное протекание процесса распыливания топлива при $P_{\text{y ост}} = -27$ МПа. Очевидно, что расчетно-экспериментальное исследование при отсутствии учета последовательного заполнения свободных объемов в ТВД не позволяет выявить эту особенность.

Таблица 1

Результаты расчетов РПТА к рис. 4

$P_{\text{y ост}}$, МПа	Учет заполнения свободных объемов в ТВД	$g_{\text{ц}} \cdot 10^{-5}$, кг/цикл	$P_{H \text{ max}}$, МПа	$P_{F \text{ max}}$, МПа	φ_N , ° п. кул. в.	φ_{VP} , ° п. кул. в.
-17	нет	3,82	22,4	27,0	21,76	3,31
-17	да	3,91	21,5	27,0	21,97	3,32
-27	нет	2,77	19,2	27,3	22,49	2,48
-27	да	2,10	17,3	28,9	22,9	2,00

$P_{\text{y ост}}$ — условное отрицательное остаточное давление в СВД; $g_{\text{ц}}$ — цикловая подача топлива; $P_{H \text{ max}}$ — максимальное давление топлива в штуцере ТНВД; $P_{F \text{ max}}$ — максимальное давление топлива у форсунки; φ_N — угол начала подъема иглы форсунки; φ_{VP} — продолжительность впрыска.

Изменяется вид заключительной фазы процесса топливоподачи — резкие колебания давления в СВД могут привести к подвпрыскиваниям даже на частичных режимах, что, учитывая

низкие давления и малые объемы цикловых подач, еще более усугубит негативное влияние на экономичность и ресурс распылителей форсунок и дизеля в целом.

Очевидно, что для близноминальных режимов и режимов с относительно небольшой глубиной разрывов сплошности нет необходимости в учете последовательного заполнения свободных объемов в ТВД, что наглядно демонстрирует как хорошая сходимос ть с экспериментом результатов расчетно-экспериментальных исследований этих режимов [2; 4], так и результаты, представленные на рис. 4 и в табл. 1. Тем не менее следует иметь в виду, что ТА высокооборотных и сверхвысокооборотных дизелей даже на близноминальных режимах может работать при наличии разрывов сплошности в СВД.

Выводы:

Проведен анализ использующихся в настоящее время методов учета заполнения остаточных свободных объемов в системе высокого давления при расчетно-экспериментальных исследованиях рабочих процессов топливной аппаратуры на частичных режимах работы дизелей, предложена методика учета разрывов сплошности с последовательным заполнением свободных объемов в трубопроводе высокого давления.

Сравнительный анализ расчетов рабочих процессов топливной аппаратуры на режимах с наличием разрывов сплошности в системе высокого давления показал необходимость учета заполнения свободных объемов не только в полостях штуцера топливного насоса высокого давления и форсунки, но и в объеме трубопровода высокого давления. Ошибка будет тем больше, чем значительней величина разрывов сплошности в системе высокого давления.

Список литературы

1. *Астахов И. В.* Топливные системы и экономичность дизелей / И. В. Астахов, Л. Н. Голубков, В. И. Трусов [и др.]. — М.: Машиностроение, 1990. — 288 с.
2. *Горелик Г. Б.* Повышение эффективности эксплуатации судовых дизелей при работе на частичных режимах: дис. ... д-ра техн. наук / Г. Б. Горелик. — Владивосток, 1999. — 254 с.
3. *Грехов Л. В.* Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для вузов / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков. — М.: Легион-Автодата, 2004. — 344 с.
4. *Чистяков А. Ю.* Исследование межцикло вой нестабильности процессов топливоподачи дизелей при работе на режимах малых подач и частот вращения: дис. ... канд. техн. наук / А. Ю. Чистяков. — Хабаровск, 2006. — 199 с.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СУДОВОГО
ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА КАК ОБЪЕКТА ДИАГНОСТИКИ****SIMULATION OF EXPERIMENTAL STUDIES OF MARINE CENTRIFUGAL PUMP
AS A SUBJECT OF DIAGNOSTICS**

Рассматривается методика применения компьютерной обучающей программы, предназначенной для практического изучения студентами особенностей центрально-композиционного планирования экспериментальных исследований судового оборудования. Моделируется процесс определения и анализа регрессионной модели, характеризующей влияние частоты вращения, давления смазки подшипника и степени его износа на диагностический параметр — интенсивность вибрации насоса в заданном частотном диапазоне.

The method of application of computerized training program, which is intended for practical study of special features of central composite design of experiments in investigation of ship machinery by students, is considered. Process of identification and analysis of regression model, which describes influence of rotation speed, pressure of bearing lubricant and rate of bearing wear on the pump vibration rate as a subject of diagnostics is simulated.

*Ключевые слова: планирование экспериментов, обучающая программа, насос, диагностика.
Key words: experimental design, training program, pump, diagnostics.*

Введение

В настоящее время в судостроении и, в частности, в судовой энергетике и машиностроении наблюдается возрастание роли, значимости и объемов экспериментальных исследований, обусловленное интенсивным развитием таких научно-технических направлений, как борьба с шумом и вибрацией, разработка диагностического обеспечения оборудования, внедрения физических методов исследования и прогнозирования надежности и ряда других задач, аналитическое решение которых затруднено сложностью, многосвязностью и недостаточной изученностью соответствующих процессов, свойств объектов и характера их взаимодействия.

В связи с этим представляется достаточно актуальной задача приобретения будущими специалистами судостроительной промышленности и флота знаний основных принципов и навыков применения в инженерной практике теории планирования эксперимента, математической статистики и методик экспериментальной апробации проектных решений, необходимых для грамотной организации исследований, проектирования, испытаний и эксплуатации новых образцов судового оборудования [1].

Мировой и отечественный опыт свидетельствует о том, что одним из актуальных направлений повышения качества обучения является использование в учебном процессе компьютеров, оснащенных стандартными или специализированными обучающими программами [2–4]. Обучающими программами принято называть программные продукты, призванные активизировать учебный процесс за счет виртуального моделирования изучаемых объектов. Область применения таких программ в учебном процессе — обеспечение лабораторных работ в режиме диалогового общения студентов с компьютерами [5].

В настоящей статье рассматривается методика применения компьютерной обучающей программы, предназначенной для проведения лабораторной работы в рамках изучения одного из разделов дисциплины «Основы теории планирования экспериментов». В интерактивном режиме взаимодействия с компьютером обеспечивается выполнение следующих этапов экспериментальных работ:

- ввод исходных данных;
- выбор типа математической модели;
- подготовка плана и матрицы эксперимента;
- выбор условий проведения опытов и их выполнение;
- предварительная статистическая обработка результатов;
- выявление грубых промахов;
- вычисление коэффициентов регрессии;
- оценка значимости коэффициентов регрессии;
- оценка адекватности модели и анализ ее свойств;
- применение модели для интерполяции и экстраполяции;
- графическое представление и физическая трактовка результатов.

1. Объект и задачи исследования

В качестве *объекта исследования* рассматривается судовой центробежный насос с плавной регулировкой частоты вращения (приводной электродвигатель снабжен преобразователем частоты питающего тока), имеющий принудительную систему смазки (рис. 1).



Рис. 1. Центробежный насос

Варьируемые *факторы*:

X_1 — частота вращения рабочего колеса (об/мин);

X_2 — степень износа подшипника скольжения, то есть зазор (мкм);

X_3 — давление смазки подшипника (бар).

Исследуемый *отклик*: Y — уровень сигнала диагностического вибродатчика в заданной частотной полосе (дБ).

Цель эксперимента: определение регрессионной математической модели объекта, характеризующей зависимость диагностического параметра от степени износа подшипника и указанных выше режимных факторов [6–8].

Тип эксперимента: активный (условия опытов задаются экспериментатором).

2. Выбор типа математической модели

Обычно в теории планирования рекомендуется выбирать модель в виде полинома, то есть в виде алгебраической суммы факторов и их произведений, помноженных на коэффициенты регрессии. Поскольку нет априорной уверенности в том, что влияние рассматриваемых факторов на сигнал диагностического вибродатчика может быть описано чисто линейной зависимостью, выбираем модель 2-го порядка.

Таблица 1

Состав квадратичной модели

$Y=B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_1X_3 + B_{23}X_2X_3 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{33}X_3^2$		
линейная часть	эффекты взаимодействия факторов	квадратичные члены

3. Подготовка плана и матрицы эксперимента

Для экспериментального определения коэффициентов квадратичной модели требуются планы, предусматривающие реализацию более двух уровней варьирования факторов. Пригодны планы полного факторного эксперимента с варьированием на 3 уровнях (ПФЭ 3^к) либо центрально-композиционные планы (варьирование на 5 уровнях).

Таблица 2

Объем испытаний для разных типов планов

Число факторов	Число опытов	
	ПФЭ 3 ^к	ЦКП
2	9	9
3	27	15
4	81	25
5	243	43

Сопоставление данных о необходимом количестве опытов при использовании указанных планов (см. табл. 2) позволяет сделать выбор в пользу центрально-композиционного планирования, обеспечивающего большее количество уровней варьирования факторов при меньшем количестве опытов.

Графическое представление ЦКП для 3 факторов и соответствующая матрица планирования приведены на рис. 2 и в табл. 3.

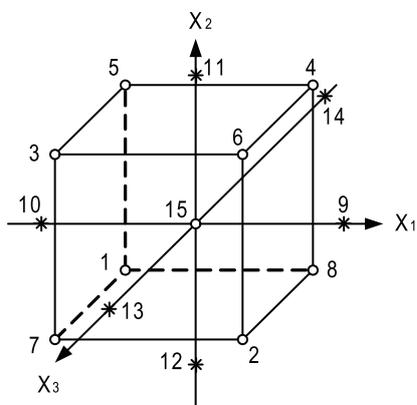


Рис. 2 (слева). Центрально-композиционный план

α — «звездное плечо» — расстояние «звездных точек» от центра плана

По условию ортогональности матрицы планирования для 3 факторов
 $\alpha = 1,215$

Таблица 3

Кодированные значения факторов в матрице ЦКП

№	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	X_1^2	X_2^2	X_3^2	Части ЦКП
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	Ядро $N_j = 2^k$
2	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	
3	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	
5	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	
6	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	
7	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	
8	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	
9	+1	$+\alpha$	0	0	0	0	0	α^2	0	0	Звездные точки $N^* = 2k$
10	+1	$-\alpha$	0	0	0	0	0	α^2	0	0	
11	+1	0	$+\alpha$	0	0	0	0	0	α^2	0	
12	+1	0	$-\alpha$	0	0	0	0	0	α^2	0	
13	+1	0	0	$+\alpha$	0	0	0	0	0	α^2	
14	+1	0	0	$-\alpha$	0	0	0	0	0	α^2	Центр
15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Важным свойством матрицы планирования является ее *ортогональность*, которая обеспечивает возможность независимой оценки всех коэффициентов математической модели объекта. Ортогональная матрица позволяет после проведения опытов очень просто вычислить любой коэффициент: нужно почленно перемножить столбец матрицы, имеющий одноименный с вычисляемым коэффициентом индекс, и столбец с результатами опытов, сложить эти произведения и сумму разделить на число опытов.

Правило проверки ортогональности матрицы: сумма почленных произведений любых двух столбцов должна равняться нулю. Нетрудно видеть, что для приведенной в табл. 3 матрицы это условие не соблюдается.

Этот недостаток можно устранить следующим образом [1]:

— вместо квадратичных переменных X_j^2 введем в матрицу новые переменные $X_j^H = x_j^2 - \hat{x}_j^2$,

где $\hat{x}_j^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij}^2$ — среднее значение квадратичного столбца исходной матрицы;

— зададим значение звездного плеча $\alpha = 1,215$.

В результате получим матрицу, представленную в табл. 4.

Таблица 4

Ортогональная матрица ЦКП для 3 факторов

№	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	X_1^H	X_2^H	X_3^H
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	0,27	0,27	0,27
2	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	0,27	0,27	0,27
3	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	0,27	0,27	0,27
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	0,27	0,27	0,27
5	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	0,27	0,27	0,27
6	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0,27	0,27	0,27
7	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	0,27	0,27	0,27
8	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	0,27	0,27	0,27
9	+1	$+\alpha$	0	0	0	0	0	0,746	-0,73	-0,73
10	+1	$-\alpha$	0	0	0	0	0	0,746	-0,73	-0,73
11	+1	0	$+\alpha$	0	0	0	0	-0,73	0,746	-0,73
12	+1	0	$-\alpha$	0	0	0	0	-0,73	0,746	-0,73
13	+1	0	0	$+\alpha$	0	0	0	-0,73	-0,73	0,746
14	+1	0	0	$-\alpha$	0	0	0	-0,73	-0,73	0,746
15	+1	0	0	0	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,73

4. Выбор условий проведения опытов

Исходя из заданного диапазона изменения факторов в процессе эксперимента, определим координаты центра плана и интервалы варьирования для рассматриваемых факторов. Значения нижнего и верхнего уровня получим вычитанием или прибавлением к координате центра соответствующих интервалов варьирования. Для получения координат звездных точек будем вычитать или прибавлять звездное плечо, полученное умножением интервала варьирования на $\alpha = 1,215$. Полученные значения приведены в табл. 5.

Таблица 5

Значения факторов на пяти уровнях варьирования

Факторы	Размерность	Интервалы варьирования Δ_j	Звездное плечо $\alpha_j = 1,215\Delta_j$	Нижняя звездная точка «-0»	Нижний уровень «-1»	Центр плана «0»	Верхний уровень «+1»	Верхняя звездная точка «+0»
X_1	об/мин	100	122	578	600	700	800	822
X_2	мкм	20	24,3	45,7	50	70	90	94,3
X_3	бар	1	1,22	3,78	4	5	6	6,22

5. Выполнение опытов и предварительная статистическая обработка результатов

Сопоставляя столбцы плана (они выделены жирными линиями в табл. 4) и соответствующие им фактические значения факторов (табл. 5), получим условия проведения опытов. При проведении каждого опыта замер сигнала Y будем производить трижды (столбцы Y_a , Y_b и Y_c в табл. 6). Результаты измерений будут несколько отличаться друг от друга, поскольку в моделирующей программе заложена имитация случайной погрешности измерений, распределенной по нормальному закону.

Предварительная статистическая обработка результатов заключается в вычислении среднего значения Y_{cp} и дисперсии D :

$$Y_{cp} = (Y_a + Y_b + Y_c)/3,$$

$$D = [(Y_a - Y_{cp})^2 + (Y_b - Y_{cp})^2 + (Y_c - Y_{cp})^2]/2$$

Таблица 6

Условия и результаты опытов

№ оп.	Заданные значения факторов			Сигнал датчика, дБ			Обработка	
	X_1 об/мин	X_2 мкм	X_3 бар	Y_a	Y_b	Y_c	Y_{cp}	D
1	600	50	4	25,518	24,736	25,166	25,14	0,153
2	800	50	8	29,955	28,843	28,139	28,98	0,838
3	600	90	8	25,688	25,279	24,873	25,28	0,166
4	800	90	4	41,655	40,793	41,152	41,20	0,187
5	600	90	4	29,683	28,462	29,515	29,22	0,438
6	800	90	8	37,082	36,877	37,461	37,14	0,088
7	600	50	8	20,821	20,943	21,356	21,04	0,079
8	800	50	4	32,843	33,406	33,351	33,20	0,096
9	822	70	6	35,456	35,552	34,712	35,24	0,211
10	578	70	6	22,893	22,809	23,718	23,14	0,252
11	700	94,3	6	34,091	34,393	34,536	34,34	0,052
12	700	45,7	6	26,237	26,828	27,635	26,90	0,492
13	700	70	8,43	27,908	27,595	28,437	27,98	0,181
14	700	70	3,56	33,163	32,233	33,424	32,94	0,392
15	700	70	6	30,551	29,427	30,112	30,03	0,321

6. Выявление грубых промахов

Проверка выполняется путем оценки однородности дисперсий с помощью критерия Кохрена (G -критерия). Экспериментальное значение критерия определяется по формуле

$$G_{\text{экс}} = \frac{D_{\text{max}}}{\sum_{i=1}^N D_i}$$

где в числителе — максимальная из дисперсий (у нас во 2-м опыте $D = 0,838$);
в знаменателе — сумма всех дисперсий (у нас 3,946).

$$G_{\text{экс.}} = 0,838/3,946 = 0,21$$

Для определения табличного значения критерия задают следующие координаты:

— уровень значимости $\alpha = 1 - 0,95 = 0,05$;

— степень свободы $f_1 = 2$ (на единицу меньше числа замеров);

— степень свободы $f_2 = 15$ (количество опытов).

Пользуясь таблицей [1], находим: $G_{\text{табл.}} = 0,36$. Поскольку $G_{\text{экс.}} < G_{\text{табл.}}$, делается вывод об однородности дисперсий и **отсутствии грубых промахов**.

7. Вычисление коэффициентов регрессии

Усилия, затраченные на создание ортогональной матрицы (раздел 3) были не напрасны: теперь с ее помощью мы можем очень просто вычислить коэффициенты регрессии. Для этого достаточно столбец матрицы с одноименным индексом факторов (табл. 4) почленно перемножить со столбцом средних результатов (табл. 6), произведения сложить и сумму разделить на число опытов (15). Применение этого алгоритма дает следующие результаты:

B_0	B_1	B_2	B_3	B_{12}	B_{13}	B_{23}	B_{11}	B_{22}	B_{33}
30,03	4,98	3,06	-2,04	0,98	-0,03	0,04	-0,51	0,40	0,29

8. Оценка значимости коэффициентов регрессии

Эта процедура выполняется с целью упрощения модели с использованием **критерия Стьюдента**. Сначала вычислим дисперсию коэффициентов и среднеквадратичное отклонение:

$$S_B^2 = \frac{\sum_{i=1}^N D_i}{N^2 n(n-1)} = 0,00293, \quad S_B = \sqrt{S_B^2} = 0,054.$$

Затем зададим координаты: $P = 0,95$ — доверительная вероятность; $f = N(n - 1) = 15(3 - 1) = 30$ — степень свободы,

и находим табличное значения критерия Стьюдента [1]: $t_{\text{табл.}} = 2,042$.

После этого вычислим доверительный интервал коэффициентов регрессии:

$$\Delta_B = t_{\text{табл.}} \cdot S_B = 2,042 \cdot 0,054 = 0,11.$$

Оценка значимости коэффициента выполняется в соответствии с правилом: $|B_j| \geq \Delta_B \rightarrow$ коэффициент значимый.

После сравнения по абсолютной величине с доверительным интервалом признаны значимыми следующие коэффициенты:

B_0	B_1	B_2	B_3	B_{12}	B_{11}	B_{22}	B_{33}
30,03	4,98	3,06	-2,04	0,98	-0,51	0,40	0,29

Остальные коэффициенты приравнены к нулю. Модель после упрощения имеет вид

$$Y = 30,03 + 4,98X_1 + 3,06 X_2 - 2,04X_3 + 0,98X_1X_2 - 0,51X_1^2 + 0,40X_2^2 + 0,29X_3^2.$$

9. Оценка адекватности модели

Адекватность модели — это ее способность достоверно описывать реальные свойства объекта. Оценка адекватности модели заключается в статистическом сопоставлении результатов, полученных опытным путем (Y), и результатов, вычисленных для тех же условий с помощью модели ($Y^{\text{мод}}$). Для оценки используем критерий Фишера.

$$\text{Дисперсия адекватности: } D_{\text{адекв}} = \frac{0,5n \sum_{i=1}^N (\bar{Y}_i - Y_i^{\text{мод}})^2}{L} = 0,186,$$

где i — номер опыта; L — число незначимых коэффициентов (у нас $L = 2$).

$$\text{Дисперсия эксперимента: } S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N D_i}{N(n-1)} = 0,132.$$

$$\text{Экспериментальное значение критерия Фишера: } F_{\text{э}} = \frac{S_{\text{ал}}^2}{S^2} = 1,40.$$

Зададим доверительную вероятность $p = 0,95$ и степени свободы: $f_1 = L = 2$; $f_2 = N(n-1) = 30$ и найдем **табличное значение критерия Фишера** [1]: $F_{\text{табл.}} = 3,32$.

Условие адекватности $F_{\text{э}} < F_{\text{табл.}}$ соблюдается, следовательно полученная экспериментальным путем математическая **модель объекта адекватна**.

10. Анализ качества модели

Наличие в модели значимых коэффициентов при эффектах взаимодействия факторов и квадратичных элементах подтвердило справедливость принятой при выборе типа модели и плана эксперимента гипотезы о нелинейном характере влияния рассматриваемых факторов на сигнал вибродатчика.

Отсутствие резкого превышения свободного члена B_0 над коэффициентами регрессии B_1 B_2 и B_3 является признаком достаточной чувствительности модели.

11. Применение модели для интерполяции, экстраполяции и сравнительной оценки характера влияния факторов на отклик

Адекватность и чувствительность модели позволяют использовать ее для вычисления отклика (значения сигнала диагностического датчика) при произвольном сочетании значений факторов. Для этого нужно заданные значения факторов подставить в регрессионную модель, предварительно приведя их к относительному виду с помощью формулы

$$\underline{X}_j = \frac{X_j - X_j^0}{\Delta X_j}$$

где X_j — заданное значение фактора; X_j^0 — значение этого фактора в центре эксперимента; ΔX_j — интервал варьирования этого фактора.

При этом, если все относительные значения факторов меньше по абсолютной величине, чем звездное плечо $\alpha = 1,215$, точка находится внутри исследованной области факторного пространства, и процедура вычисления отклика с помощью модели называется *интерполяцией*. Если это условие не соблюдается — точка находится за пределами исследованной области, и процедура называется *экстраполяцией*.

Таблица 7

Примеры вычисления отклика по заданным значениям факторов

Значения факторов		Отклик Y	Тип процедуры
заданные	относительные		
$X_1 = 750$ об/мин $X_2 = 60$ мкм $X_3 = 6$ бар	$\underline{X}_1 = +0,5$ $\underline{X}_2 = -0,5$ $\underline{X}_3 = 0$	30,7 дБ	Интерполяция
$X_1 = 550$ об/мин $X_2 = 95$ мкм $X_3 = 7$ бар	$\underline{X}_1 = -1,5$ $\underline{X}_2 = +1,25$ $\underline{X}_3 = +0,5$	23.1 дБ	Экстраполяция

Используя регрессионную модель для определения предполагаемого значения отклика Y , необходимо иметь в виду, что интерполяции всегда корректны, поскольку модель, полученная в результате исследования объекта в области эксперимента, используется для оценки его свойств в этой же области. Для экстраполяции это соответствие не соблюдается, поэтому ее достоверность убывает по мере удаления заданного сочетания значений факторов от области эксперимента.

Сравнительный анализ коэффициентов регрессии B_1 , B_2 и B_3 позволяет судить о характере влияния соответствующих факторов X_1 , X_2 и X_3 на отклик Y .

Абсолютные значения коэффициентов характеризуют силу влияния соответствующих факторов на величину отклика. Расставив коэффициенты в порядке убывания их модулей ($|B_1| = 4,98$; $|B_2| = 3,06$ и $|B_3| = 2,04$), мы можем предположить, что в исследованной области наибольшее влияние на сигнал оказывает фактор X_1 — частота вращения рабочего колеса. На втором месте стоит зазор в подшипнике и на третьем — давление смазки.

Знаки коэффициентов характеризуют направление влияния факторов. Положительные знаки коэффициентов B_1 и B_2 и отрицательный знак коэффициента B_3 указывают на то, что увеличение частоты вращения рабочего колеса и зазора в подшипнике будет приводить к увеличению сигнала датчика, а увеличение давления смазки — к уменьшению сигнала.

12. Графическое представление и физическая трактовка результатов

Графическое отображение функции трех переменных представляет собой некую гиперповерхность в четырехмерном пространстве. Находясь в трехмерном пространстве, мы можем изобразить только различные сечения этой поверхности, характеризующие зависимость отклика от двух факторов при зафиксированном третьем факторе. Например, в табл. 8 и на рис. 3 показано влияние зазора в подшипнике и частоты вращения рабочего колеса на уровень сигнала вибродатчика при давлении смазки 6 бар.

Таблица 8

Зависимость сигнала вибродатчика (Y , дБ) от режима и технического состояния насоса

Зазор, мкм	Частота вращения, об/мин				
	500	600	700	800	900
40	15,53	20,57	24,59	27,59	29,57
50	15,58	21,11	25,62	29,11	31,58
60	15,83	21,85	26,85	30,83	33,79
70	16,28	22,79	28,28	32,75	36,20
80	16,93	23,93	29,91	34,87	38,81
90	17,78	25,27	31,74	37,19	41,62
100	18,83	26,81	33,77	39,71	44,63

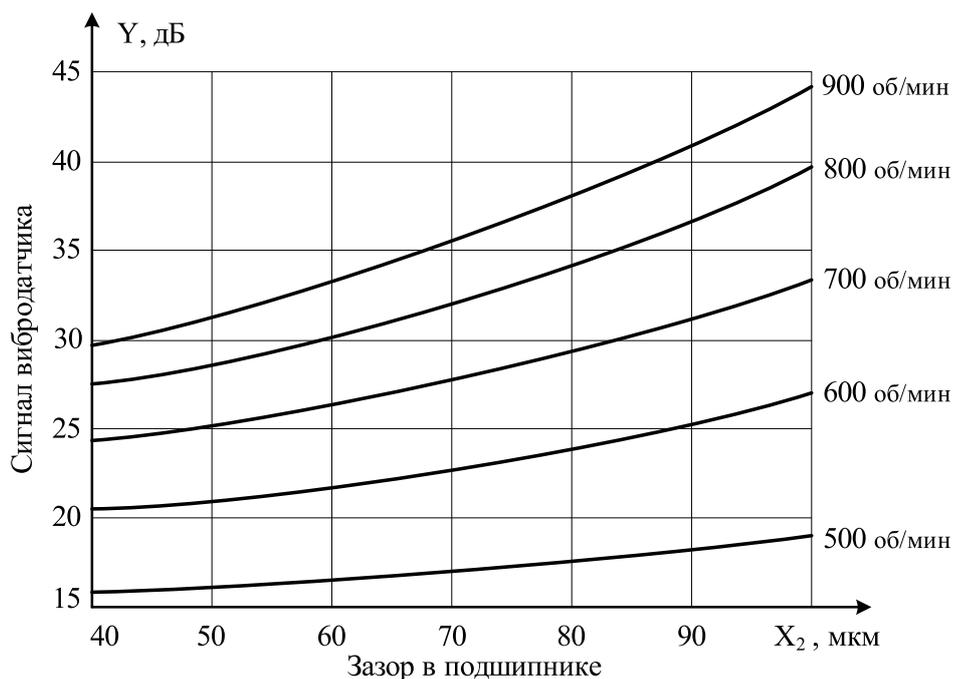


Рис. 3. Зависимость сигнала диагностического датчика от зазора в подшипнике и частоты вращения рабочего колеса (давление смазки 6 бар)

Анализ этих графиков подтверждает представления о свойствах исследованного насоса, полученные в результате анализа коэффициентов регрессии:

- увеличение частоты вращения насоса в области эксперимента сопровождается увеличением его виброактивности, поскольку с увеличением частоты вращения увеличивается интенсивность силового взаимодействия деталей подшипника;

- увеличение зазора в подшипнике также приводит к увеличению виброактивности, которое можно объяснить увеличением амплитуды биения ротора при увеличении зазоров в опорных узлах;

- увеличение давления смазки сопровождается снижением виброактивности, поскольку слой смазки оказывает демпфирующее действие, смягчая соударения деталей подшипника, причем эффективность демпфирования увеличивается с увеличением давления смазки;

- характеристики имеют нелинейный вид, что подтверждает целесообразность применения центрально-композиционного плана.

Выводы

Применение рассмотренной обучающей программы при проведении лабораторной работы в компьютерном классе вуза позволяет решить сразу две задачи:

- привить студентам навыки практического применения теории планирования экспериментов для исследования судового оборудования;

- познакомить их с особенностями диагностирования судового насоса.

Накопленный к настоящему времени в СПбГМТУ и ГУВК опыт применения этой и подобных ей компьютерных обучающих программ свидетельствует о том, что использование активных форм обучения положительно воспринимается студентами и облегчает изучение довольно сложных для усвоения дисциплин, насыщенных формулами, вычислениями и специфическими терминами.

Список литературы

1. Михайлов В. И. Планирование экспериментов в судостроении / В. И. Михайлов, К. М. Федосов. — Л.: Судостроение, 1978.
2. Тыщенко О. Б. Диалог компьютера и студента / О. Б. Тыщенко // Высшее образование в России. — 2000. — № 6.
3. Броневиц А. Б. Некоторые психолого-педагогические особенности создания и использования компьютерных обучающих программ в вузе / А. Б. Броневиц // Психологическая наука и образование. — 2004. — № 4.
4. Вислобоков Н. Ю. Технологии организации интерактивного процесса обучения / Н. Ю. Вислобоков, Н. С. Вислобокова // Информатика и образование. — 2011. — № 6 (224).
5. Куценко С. М. Моделирующие компьютерные программы в процессе лабораторно-практических занятий студентов вуза / С. М. Куценко. — Казань: КГЭУ, 2004.
6. Баркова Н. А. Введение в виброакустическую диагностику роторных машин и оборудования / Н. А. Баркова. — СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2003.
7. Варкулевич В. К. Диагностирование электроприводного насосного агрегата без разборки / В. К. Варкулевич. — Владивосток: Морской гос. ун-т, 2003.
8. БАЛТЕХ. Диагностика насосов [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.baltech.su/catalog.php?catalog=18>

УДК 621.875.5

Е. Н. Андрианов,
канд. техн. наук, профессор,
СПГУВК;

А. Н. Иванов,
канд. техн. наук, доцент,
СПГУВК

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА МЕХАНИЗМОВ ИЗМЕНЕНИЯ ВЫЛЕТА СТРЕЛЫ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ

TOPICAL PROBLEMS OF CONSTRUCTION AND DESIGN OF THE GANTRY CRANE BOOM OUTREACH CONTROL MECHANISMS

В статье рассмотрены некоторые вопросы построения конструкций механизмов изменения вылета стрелы порталных кранов, обеспечивающие предсказуемость конструктивно-компоновочных решений, свойств материала, геометрии и прочности реечной передачи.

The article is devoted to some problems of construction of gantry crane boom outreach control mechanisms for prediction of constructive and lay-out decisions, material properties, geometry and durability of a pinion-rack drive.

Ключевые слова: механизм, вылет, кран, конструкции, геометрия, прочность.

Key words: mechanism, boom, crane, constructions, geometry, strength.



МЕХАНИЗМ изменения вылета (МИВ) порталного крана является одним из основных механизмов, обеспечивающих надежность машины в целом. Его поломка приводит к значительным экономическим потерям, связанным с ремонтом конструкции и простоям в работе крана.

Для конструкций механизмов изменения вылета характерно применение деталей и соединений с расчетными параметрами. Так, неточное расположение шарниров (A , B , C) (рис. 1–3) перемещает рейку 3 в неправильное положение: пятно контакта и боковой зазор в зубьях выходят за пределы, рекомендуемые стандартами. Возникает необходимость их регулирования. При больших размерах и массах изделий выполнить это трудно. Трудность во многом обуславливается еще и устройством механизма, содержащего пространственно разобщенные узлы.

В статье излагаются особенности конструирования МИВ реечного типа с зубчатой рейкой, которые преобладают на современных порталных кранах [1]. Рассматриваются вопросы, которые не нашли должного отражения в специальной литературе, а также известные вопросы под новым углом зрения. Эти вопросы хотя и кажутся на первый взгляд второстепенными, однако в реальной производственной деятельности они занимают существенное место.

1. Регулирование взаимного положения рейки и шестерни в реечной передаче является важным с точки зрения эксплуатационных свойств вопросом. Для обеспечения точности взаимного расположения в МИВ предусматривают регулирующее устройство, конструкция которого во многом зависит от взаимного расположения шарниров корня стрелы (шарнир A) и приводного вала рейки (шарнир C) (рис. 1–3).

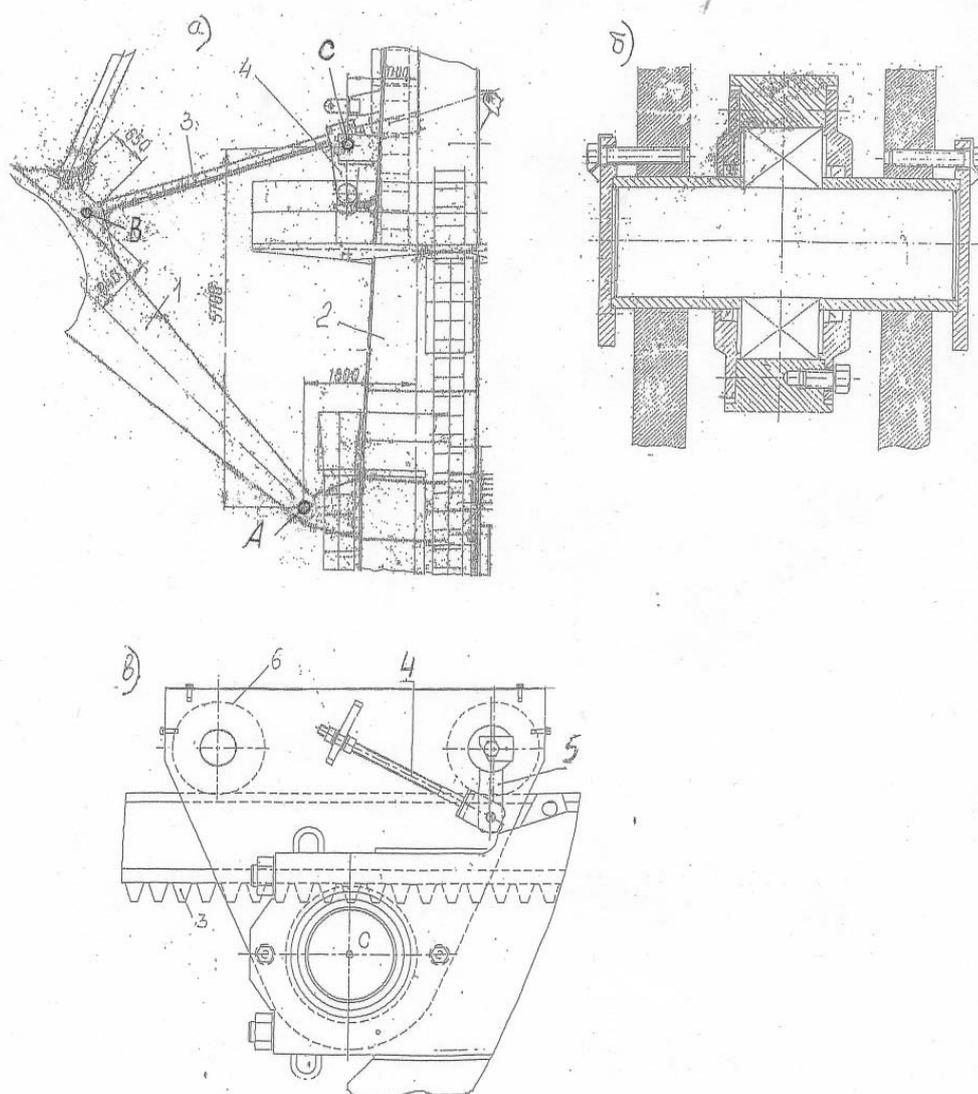


Рис. 1. Устройство для регулирования зацепления и направляющей рейки МИВ порталных кранов типа «Сокол»

Рассматривая конструкции, как нашедшие применение в порталных кранах, так и вновь создаваемые, можно выделить два основных конструктивных решения.

В первом конструктивном решении оба шарнира (A и C) размещены в одной металлоконструкции верхнего строения — колонне 2. Это делает возможным их совместную механообработку, обеспечивающую параллельность осей шарниров. При монтаже механизма для обеспечения правильного зацепления достаточно перемещения опоры рейки вдоль оси шарнира (B) до тех пор, пока не будет достигнуто нужное пятно контакта. Одна из конструкций регулируемого шарнира (B) показана на рис. 1, б.

В процессе эксплуатации крана производится лишь техническое обслуживание и мероприятия по поддержанию зазора между нажимными роликами и рейкой в установленных пределах. Данную операцию часто называют дорегулированием рейки.

На рис. 1, в показана типовая конструкция регулирования направляющей рейки, то есть регулирования зазора между нажимными роликами b и рейкой 3. В эксплуатации конструкция не допускает изменения пятна контакта и бокового зазора сверх нормированных значений. При превышении норм производится дорегулирование.

Во втором конструктивном решении шарниры (A и C) размещены в разных металлоконструкциях верхнего строения, что исключает совместную механообработку отверстий. Поэтому сделать отверстия под шарниры, находящиеся далеко друг от друга, точно параллельными практически невозможно. Это требует дополнительных приспособлений, посредством которых можно обеспечить правильное зацепление и избежать трудоемких работ при монтаже механизма.

В конструкции на рис. 2 шарнир (C) размещен на выходном валу редуктора, в свою очередь установленного на раме верхнего А-образного каркаса 2. Такое решение не создает условий для правильного зацепления в основном по двум причинам. Во-первых, конструкция не обеспечивает параллельность и отсутствие перекоса осей шарниров и, во-вторых, не обеспечивает правильного положения рейки в кремальере и в проушине стрелы шарнира (B) по отношению к оси V , лежащей в плоскости, перпендикулярной продольной оси H рейки (рис. 2).

Параллельность осей шарниров обеспечивают в этом случае путем разворачивания редуктора по плоскости стыка корпуса с рамой верхнего каркаса. Нужное положение корпуса фиксируют клиньями 5 (рис. 2, б), устанавливаемыми между боковыми сторонами лап корпуса и рамы лебедки. Форма клина выявляется при монтаже. Для снижения трудоемкости монтажа реализация регулировки достигается сборкой и сваркой в специальных сборочных стендах в заводских условиях.

Правильное положение рейки в кремальере регулируют как обычно: перемещением ее вдоль оси шарнира. После чего с помощью хомутов b (рис. 2, в) закрепляют положение рейки.

Отметим, что для поворота корпуса редуктора конструкцией не предусмотрены регулировочные винты. Поэтому если придется позже вновь регулировать зацепление, в подобном устройстве это выполнить нелегко.

Отмеченного недостатка лишена конструкция на рис. 3, в которой шарнир (C) также размещен на выходном валу редуктора механизма. Правильное зацепление зубьев устанавливается перемещением опор вала с помощью регулировочных винтов 5 (рис. 3, б).

После регулировки на торцах корпусов подшипников приваривают фиксирующие планки b . Если придется позже вновь регулировать зацепление, в подобном устройстве это выполнить легко.

2. Твердость зубьев является другим важным вопросом, определяющим размеры и конструкцию реечной пары. В качестве примера можно указать на табл. 1. В частности, если число зубьев шестерни равно 12, шестерня имеет делительный диаметр 460, 300, 245, 212 мм, при средней твердости зубьев соответственно равный 187, 230, 256, 287 НВ (см. выделенный курсивом столбец). Пиковая нагрузка 620 кН, параметры и режим работы МИВ одинаковые. Конструкция рейки до твердости 230 НВ включительно сварная, а свыше указанной твердости — сборная (съёмное полотно).

Расчетный модуль рейки по ГОСТ 21354-87

Твердость НВ	Число зубьев шестерни					
	10	12	14	16	18	20
167...207	42,3	38,6	35,7	33,4	31,5	29,9
187...229	33,7	30,8	28,5	26,7	25,1	23,8
212...248	27,2	24,8	23,0	21,5	20,3	19,2
223...262	24,7	22,5	20,8	19,5	18,4	17,4
235...277	22,6	20,6	19,1	17,8	16,8	16,0
248...293	20,8	18,9	17,6	16,4	15,5	14,7
262...311	19,4	17,7	16,4	15,4	14,5	13,7

Отметим особенности назначения твердости зубьев и термообработки.

При выборе механических свойств материала деталей реечного зацепления МИВ стрелы порталных кранов *рекомендуется считать*:

- с размерами: длиной реечного полотна и диаметром шестерни;
- конструкцией рейки: полотно съемное или зубья нарезаются в сварной конструкции;
- обрабатываемостью материала, определяющая длительность процесса нарезания, стойкость зуборезного инструмента: затупление инструмента в процессе нарезания приводит к искажениям в геометрии зацепления, и поэтому оно либо вообще недопустимо, либо допустимо в той мере, которая обуславливается допусками на точность элементов зацепления;
- прирабатываемостью контактной пары, поскольку возможна работа зуба краем, как вследствие деформации металлоконструкции, так и вследствие недостаточно точного изготовления и монтажа реечного зацепления;
- склонностью контактной пары к заеданию: при материалах зубьев, подвергаемых термообработке до нарезания зубьев (улучшаемые и нормализованные стали), наименьшая твердость шестерни должна быть не ниже наибольшей твердости рейки.

При учете обрабатываемости материала нужно иметь в виду следующее. Чем однороднее структура материала, тем лучше ее обрабатываемость при данной твердости. Поэтому стали с глубокой прокаливаемостью обрабатываются легче. По этой же причине сталь, у которой данная твердость достигается после нормализации с высоким отпускком, обрабатывается легче, чем улучшенная сталь при той же твердости. Так, реечные зацепления, содержащие нормализованную и отпущенную сталь, скажем 35ХГСА, хорошо прирабатываются и менее склонны к заеданию, чем из сталей, содержащих никель.

Определенное распространение получили в технике зацепления с высоким перепадом твердости (*разнотвердое зацепление*). В них поверхностному упрочнению до высокой твердости подвергаются зубья шестерни, а рейка изготавливается из термически улучшенной стали и имеет твердость не ниже 260 НВ или такую твердость, которая допустима по условиям обрабатываемости. Такие зацепления сохраняют за счет мягкой детали прирабатываемость. Поэтому их допустимо изготавливать с более низкой точностью и применять в узлах машин, где вследствие конструктивных, технологических и монтажных особенностей высокая точность не может быть обеспечена. Следует также иметь в виду, что использование разнотвердого зацепления позволяет поднять изломную прочность зубьев шестерни.

На этом основании для механизмов подобного класса можно рекомендовать две группы материалов:

- нормализованные и улучшаемые стали, у которых средняя твердость меньше 350 НВ (*первая группа*). По данной группе материалов изготовлены, в частности, детали реечного зацепления серийных порталных кранов завода ПТО им. С. М. Кирова;

— нормализованные и улучшаемые стали для рейки и для шестерни стали, подвергаемые поверхностному упрочнению (*вторая группа*). Здесь по умолчанию предполагается, что шестерня выполнена с высокой точностью и высоким классом шероховатости. В этих условиях шестерня играет роль притира, обеспечивая контакт по всей ширине зуба. По данной группе выполнено зацепление порталных кранов (Народное предприятие краностроения, г. Эберсвальде), в котором зубья шестерни подвергнуты поверхностной закалке на глубину (3,7...6,3) мм с твердостью (54...60) HRC при модуле, равном 20 мм.

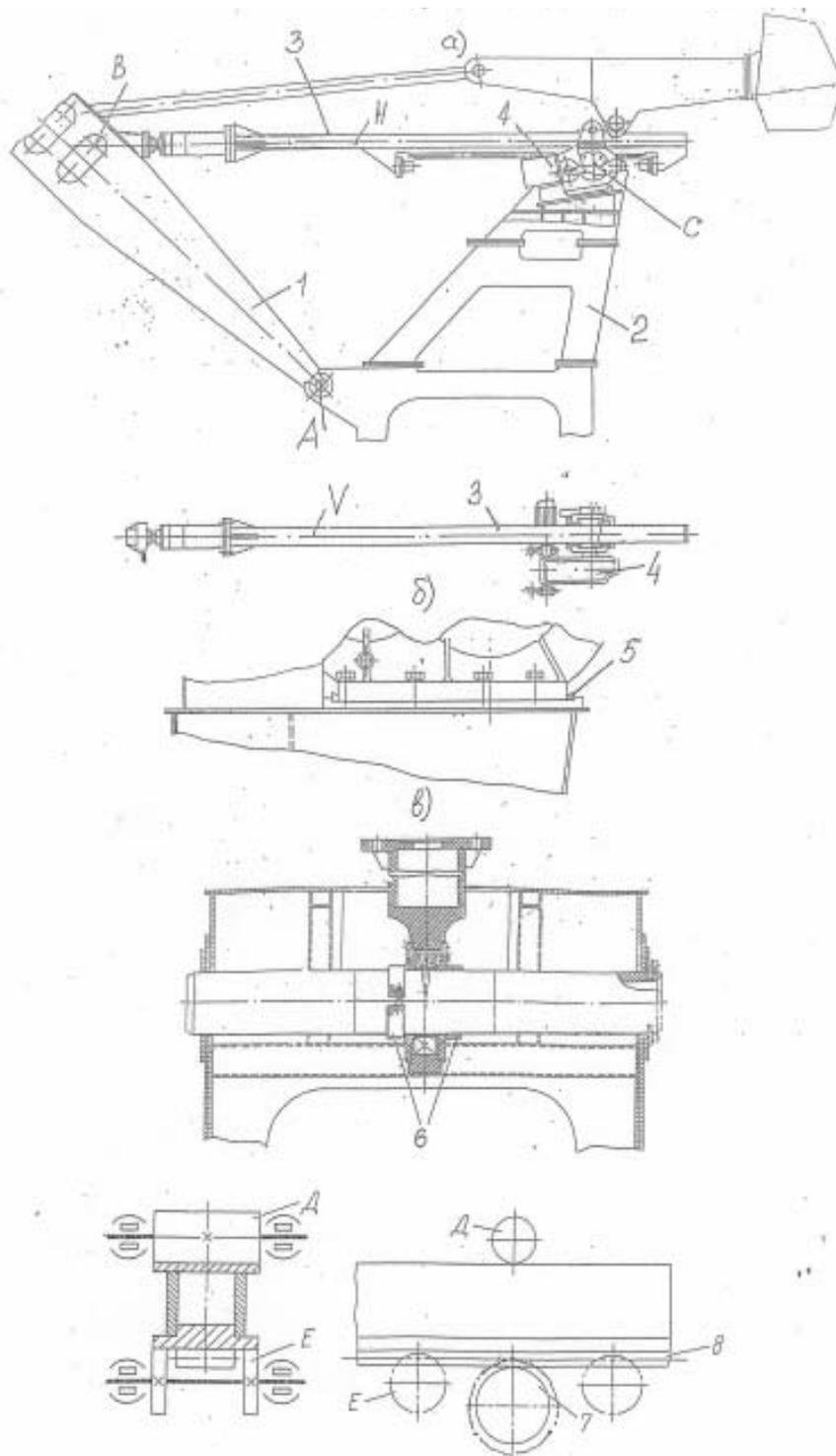


Рис. 2. Устройство для регулирования зацепления и направляющей рейки МИВ порталных кранов типа «Кировец»

Авторы надеются, что изложенные требования к выбору твердости зубьев позволят конструктору учесть: дефицитность используемых материалов на рынке; конструкцию рейки; вопросы ремонтпригодности конструкции; наличие заводского оборудования для термической и механической обработки зубьев.

3. Компонировка механизма, геометрия и прочность реечной передачи.

Взаимное положение начальной плоскости рейки относительно шарнира оголовка.

В реечной передаче аксоидами являются плоскость и цилиндр, называемые начальной плоскостью рейки и начальным цилиндром шестерни. Последний в реечном зацеплении совпадает с делительным цилиндром. Получили распространение две схемы взаимного расположения начальной плоскости 2 относительно шарнира (B).

В первой схеме на рис. 4, а начальная плоскость 2 не проходит через центр шарнира (B). Смотри также рис. 2 и 3. Здесь через центр шарнира проходит плоскость, параллельная ей и проходящая через центр тяжести (O) поперечного сечения рейки.

Во второй схеме на рис. 4, б (см. также рис. 1) начальная плоскость 2 проходит через центр шарнира (B), а плоскость, проходящая через центр тяжести поперечного сечения рейки, отстоит от нее на определенном расстоянии.

Для каждой компоновки характерна своя силовая схема. Для схемы на рис. 4, а, б:

— суммарное давление на ролики:

$$R_p = S_p \times \left(\tan(\alpha) - \frac{h_c}{l} \right) \quad R_p = S_p \times (\tan(\alpha));$$

— реакция в шарнире (B) стрела-рейка:

$$R_B = S_p \times \left(1 + \frac{h_c}{l} \right)^{0,5} \quad R_o = S_p; \quad (1)$$

— изгибающий момент в сечении l :

$$M_l = S_p \times h_c \times \left(1 - \frac{l_1}{l} \right) \quad M_l = S_p \times h_c,$$

где S_p — усилие в рейке; α — угол профиля исходного профиля; h_c — координата центра тяжести поперечного сечения рейки относительно полюса W зацепления, располагаемого на делительной окружности шестерни.

Взаимное положение рейки и шестерни реечной передачи. Распространение получила реечная пара, в которой делительная поверхность рейки удалена от делительной поверхности шестерни на расстояние, равное смещению исходного контура, то есть передача с положительным смещением. При этом в практике проектирования не следует выбирать коэффициент смещения по рекомендации [2, с. 76], выравнивающей удельные скольжения на ножках зубьев рейки и шестерни. Дело в том, что при малом числе зубьев шестерни, а это характерно для механизмов исследуемого типа, указанная рекомендация приводит к заострению зубьев шестерни. Достаточно надежно работает рекомендация, назначающая смещение, равное половине модуля. В частности, при числе зубьев, равном 10, коэффициент смещения следует назначить величиной, равной 0,5.

Ограничения, накладываемые на параметры реечной передачи. Обработку зубьев реек рассматриваемых механизмов при отсутствии специальных станков производят методом деления, например на универсально-фрезерных станках, приспособленных для изготовления [2].

Ограничения, накладываемые на выбор параметров реечной передачи, для случая, когда рейка обрабатывается методом копирования, шестерня — методом обкатки инструментом реечного типа, связаны:

— с возможностью подрезания и заострения зубьев шестерни;

— в меньшей степени с возможностью интерференции головок с переходной поверхностью.

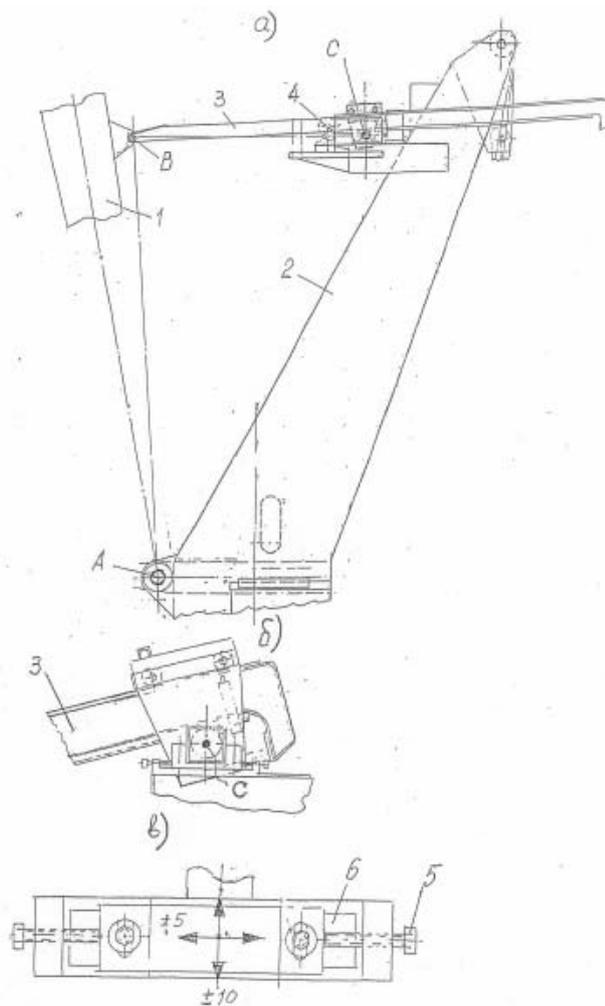


Рис. 3. Устройство для регулирования зацепления и направляющей рейки МИБ порталных монтажных кранов типа “KONEKRANES”

Расчет геометрии реечной прямозубой передачи следует выполнять с проверкой правильности назначения коэффициента смещения у шестерни (исключение подрезания, заострения, интерференции) и коэффициента укорочения зуба шестерни и рейки $K_j \leq 0, j = 1, 2$. В частности, при $Z_1 = 10$ и $k_1 \leq 0$ при значении $x_1 = 0,7$ наступает заострение зуба. Поэтому рекомендацию [2, с. 76] назначить $x_1 = 0,61$ считать правильной нельзя, так как относительная толщина зуба $(sa1/m) = 0,092$ оказывается меньше рекомендуемого значения, равного 0,25 для улучшенных зубьев, и гораздо меньше значения 0,4 в случае поверхностной закалки зубьев шестерни.

К определению напряжений изгиба в корне зуба рейки. Зуб рейки — это по существу короткая консольная балка, у которой максимальные напряжения развиваются в галтели основания. В работе [3, р. 763–766] показано определяющее влияние на величину напряжений изгиба геометрического соотношения $2 \times \rho/s$, где ρ — радиус переходной поверхности галтели в основании зуба; s — толщина зуба в опасном сечении, определяемым методом Linke [4].

Коэффициент K_ρ , показывающий, во сколько раз снижается изгибная прочность зуба рейки с нестандартным радиусом ρ_{ff} скругления и толщиной S_{ff} по сравнению с зубом рейки, выполненным со стандартными значениями ρ_{fo} и S_{fo} , согласно работам [3; 4] представляется в виде

$$K_\rho = \sqrt[3]{\frac{S_{ff} \times \rho_{fo}}{S_{fo} \times \rho_{ff}}} \quad (2)$$

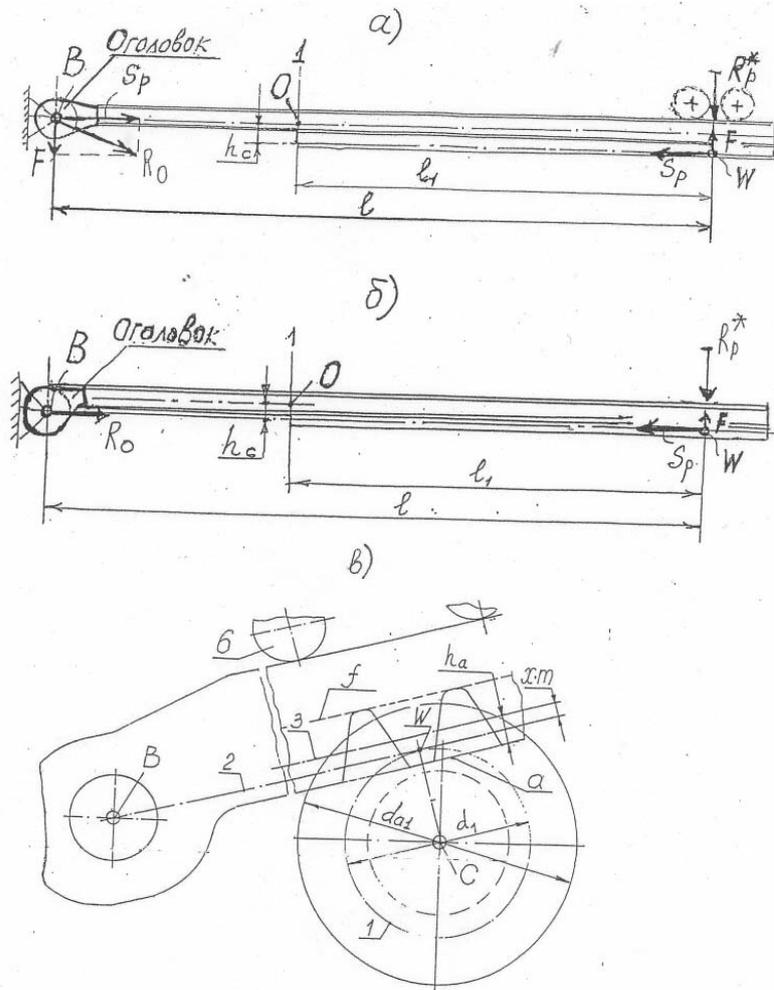


Рис. 4. Схема расположения рейки в МИВ стрелы порталных кранов

Так, при коэффициентах радиуса переходной поверхности $\rho_{fo} = 0,38$ и $\rho_{ff} = 0,2$ и соответствующих им толщинах зуба $S_{ff} = 55,75$ мм и $S_{fo} = 56,875$ мм при модуле $m = 22$ мм получим $K_p = 1,23$. На рис. 5 показаны результаты вычисления напряжений в корне зуба по методу конечных элементов: отношение напряжений в узловой точке равно $881/705 = 1,25$, что хорошо согласуется с теоретическим расчетом. Из (2) видно, что если радиус ρ_{ff} стремится к нулю, то передаваемая нагрузка также устремляется к нулю.

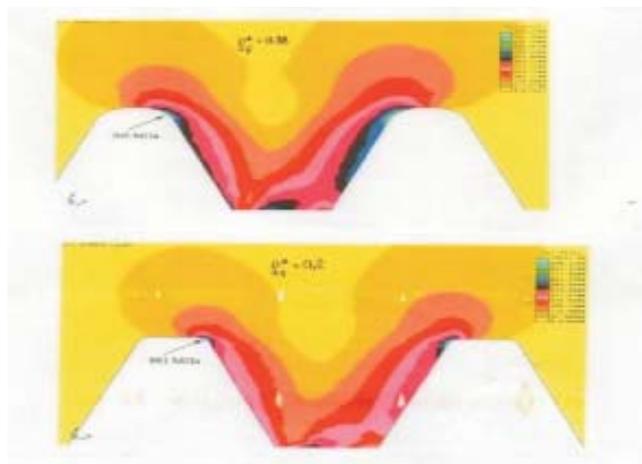


Рис. 5. Напряжение в корне зуба в методе конечных элементов

4. О законе распределения эксплуатационных нагрузок. Законы распределения нагрузок во времени для грейферных порталных кранов получены кафедрой ПТМ ЛИВТа в результате многочисленных натурных испытаний в речных и морских портах при различных режимах эксплуатации и перегрузки различных видов грузов [5, с. 9–16].

Одним из способов получения статистических характеристик силовых процессов, необходимых для расчета надежности и долговечности элементов крана, является метод косвенного определения их с помощью статистических характеристик параметров, обуславливающих формирование процесса напряжений. К числу таких параметров относятся: S — усилие в грузовых канатах; φ — угол наклона стрелы (R — вылет крана); α и β — углы отклонения канатов от вертикали в плоскости и из плоскости качания стрелы [6, с. 100–117].

При известных характеристиках действующих сил и геометрии несущей конструкции определение параметров случайного процесса нагружения не вызывает особых затруднений (см. рис. 6, а) для этого необходимо все внешние нагрузки свести к системе сил и моментов, действующих в шарнирах стреловых систем. Такие силы называются приведенными (см. рис. 6, б) [7, с. 48–55].

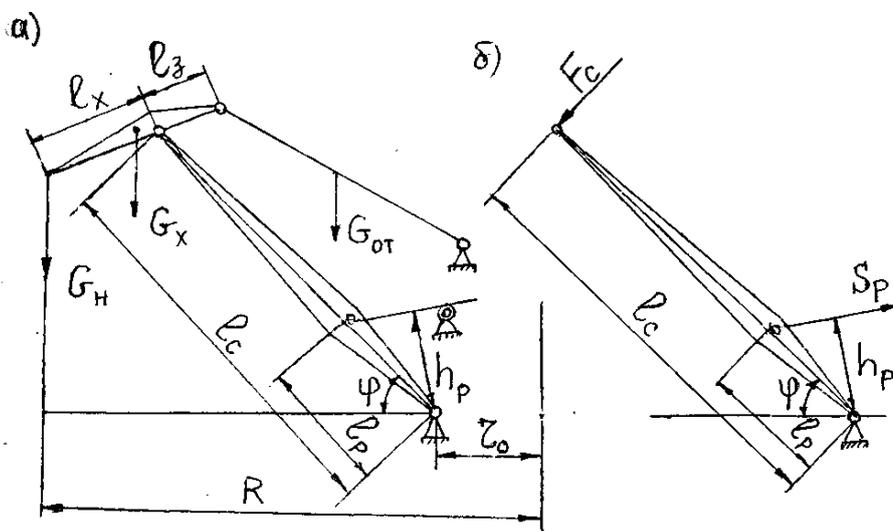


Рис. 6. Расчетная схема и нагрузки элементов стрелового устройства

Угол наклона стрелы φ (вылет — R) зависит от варианта работы и технологических особенностей организации перегрузочного процесса. Закон распределения углов наклона стрелы в большинстве случаев может быть аппроксимирован усеченным нормальным законом с плотностью распределения (рис. 7) [6]:

$$f(\varphi) = \frac{0,103}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\varphi^\circ - 57^\circ}{10^\circ} \right)^2 \right]. \quad (3)$$

Установлено, что у порталных кранов с вылетом стрелы до 32 м наибольший разброс значений угла наклона стрелы наблюдается у кранов, работающих по варианту склад–склад (кривая 3). При этом математическое ожидание угла наклона $m^\circ = 57^\circ$ и среднеквадратическое отклонение $\delta_\varphi = 10^\circ$. Более стабильные значения числовых характеристик распределений углов наклона у кранов, работающих по вариантам склад–судно (кривая 1) и вагон–судно (кривая 2), где крановщики работают преимущественно на средних вылетах. В этом случае для варианта склад–судно математическое ожидание угла наклона $m^\circ = 53^\circ$ и среднеквадратическое отклонение $\delta_\varphi = 6,7^\circ$; для варианта вагон–судно соответственно математическое ожидание $m^\circ = 58^\circ$ и среднеквадратическое отклонение $\delta_\varphi = 7^\circ$. По варианту вагон–склад наблюдается повышенный разброс значений рабочих вылетов, что объясняется размерами формируемого склада (кривая 4). Математическое ожидание угла наклона стрелы по этому варианту — $m^\circ = 59^\circ$ и среднеквадратическое отклонение — $\delta_\varphi = 9^\circ$.

На рис. 7 приведена кривая 5, построенная по уравнению (3), аппроксимирующая распределение кривой 3.

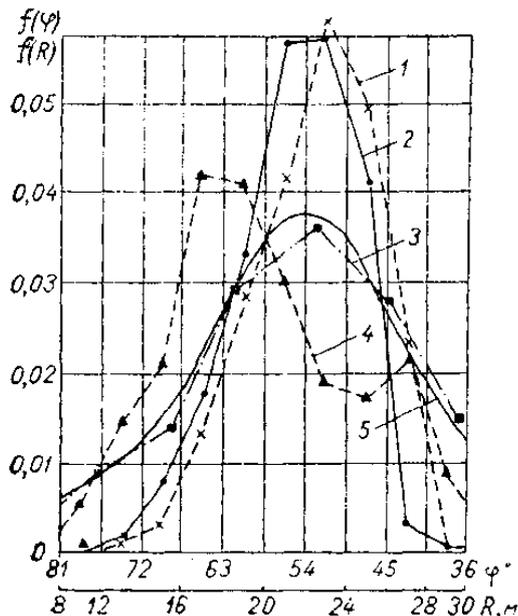


Рис. 7. Графики распределения плотностей углов наклона стрелы φ и вылетов R

В периоды неустановившегося движения механизма изменения вылета приведенная сила, действующая в плоскости качания стрелы, может быть определена по зависимости (рис. 6, б):

$$F_c = F_G + F_J + F_\alpha \quad (4)$$

F_G — приведенная к верхнему шарниру стрелы сила от весовых составляющих ШСУ и груза со следующими статистическими характеристиками [7]:

— математическое ожидание (кГс)

$$\bar{F}_G = (0,1\zeta - 0,25)G_H + 0,4G_x + 0,2G_{OT};$$

— дисперсия (кГс²)

$$D_{F_G} = (0,008\zeta^2 + 0,006\zeta + 0,032)G_H^2 + 0,03G_x^2 + (0,02\zeta + 0,03)G_x G_H,$$

где $\zeta = \ell_x / \ell_s$ — соотношение плеч хобота (см. рис. 6, а)

F_J — приведенная к концу стрелы сила, возникающая в периоды разгона или торможения механизма изменения вылета, со следующими статистическими характеристиками:

— математическое ожидание (кГс)

$$\bar{F}_J = m_n \frac{\omega_B \ell_c}{\bar{t}_B};$$

— дисперсия (кГс)

$$D_{F_J} = \frac{2m_n^2 \omega_B^2 \ell_c^2}{\bar{t}_B^2}.$$

F_α — приведенная к концу стрелы сила, возникающая вследствие отклонения грузовых канатов от вертикали в плоскости качания, со следующими статистическими характеристиками:

— математическое ожидание (кГс)

$$\bar{F}_\alpha = (0,01\zeta + 0,045)G_H$$

— дисперсия (кГц)

$$D_{F_a} = (0,008\zeta^2 + 0,004\zeta + 0,016)G_H^2.$$

В приведенных зависимостях $\ell_\chi, \ell_3, \ell_c, \ell_p, h_p, r_o, R, \varphi$ — кинематические параметры стреловой системы (см. рис. 6, а); m_n — масса стрелы, приведенная к оголовку; ω_b, t_b — угловая скорость стрелы и время неустановившегося движения механизма изменения вылета; $G_x, G_{от}, G_H$ — вес хобота, оттяжки и нормального груза.

Анализ статистических характеристик коэффициентов динамичности металлических конструкций стрел грейферных порталных кранов показывает, что среднее время при разгоне и торможении механизма изменения вылета $\bar{t}_b = 2$ с, при этом средняя амплитуда ускорений конца стрелы $\bar{\alpha}_b = 0,5$ м/с² [8, с. 111–121].

С достаточной для инженерных расчетов точностью можно определить нагрузку на рейку механизма изменения вылета (см. рис. 6, б)

$$S_p = \frac{F_c \ell_c}{h_p} \approx \frac{F_c}{v \sin \varphi}, \quad (5)$$

где $v = \ell_p / \ell_c$ — геометрическое соотношение между длиной стрелы и расстоянием от корня стрелы до точки крепления рейки; φ — угол наклона стрелы, определяемый по графикам на рис. 7.

Натурные тензометрические испытания порталных кранов показывают, что нагрузки механизма изменения вылета хорошо описываются нормальным законом с математическим ожиданием, равным нулю, который в этом случае будет однопараметрическим и может быть заменен полунормальным законом с функцией плотности распределения [5]:

$$f(S) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma_s} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{S}{\sigma_s}\right)^2\right], \quad (6)$$

где σ_s — среднеквадратическое отклонение нагрузки (момента) S .

Основываясь на опыте исследования механизмов порталных кранов, можно утверждать, что существуют зависимости между параметрами машин и вероятностными характеристиками эксплуатационных нагрузок. Натурные тензометрические испытания показывают, что законы нагружения близких по типу между собой кранов («Ганц», «Кировец», «Сокол», «Альбатрос» и др.) идентичны между собой и отличаются только значениями максимальной нагрузки. В относительной системе координат гистограммы нагрузок могут быть аппроксимированы одним законом с плотностью распределения $f(x)$ и относительной случайной величиной $x = s / s_p$, где s — случайное значение нагрузки; s_p — максимальная нагрузка на рейку [1]. Установлено, что для МИВ стрелы относительное значение среднеквадратического отклонения нагрузки

$$x_\sigma = \sigma / s_p = 0,15 \dots 0,2 \dots 0,25 [5].$$

Дальнейшие расчеты надежности и долговечности элементов механизма изменения вылета следует производить согласно методике, изложенной в работе [5].

Список литературы

1. Справочник по кранам: в 2 т. / М. П. Александров, М. М. Гохберг, А. А. Ковин [и др.]; под общ. ред. М. М. Гохберга. — Л.: Машиностроение, 1988. — Т. 2. — 559 с.
2. Зубчатые передачи: справ. / под. общ. ред. Е. Г. Гинзбурга. — 2-е изд. — Л.: Машиностроение, 1980. — 416 с.

3. Proc. Int. Conf. Gear., Zhengzhou, 5–10 Nov., 1988. — Zhengzhou, 1988. — Vol. 2.
4. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden. — 1978. — № 27, 3/4.
5. Андрианов Е. Н. Эксплуатационные нагрузки порталных перегрузочных кранов / Е. Н. Андрианов // Журнал университета водных коммуникаций. — СПб., 2009. — Вып. 4.
6. Брауде В. И. Нагрузки порталных кранов / В. И. Брауде, Н. В. Звягинцев, Ю. В. Силиков // Тр. ЛИВТа. — Л.: Транспорт, 1969.
7. Звягинцев Н. В. Вероятностные характеристики процессов нагружений элементов металлических конструкций стреловых систем грейферных порталных кранов / Н. В. Звягинцев, Н. Я. Розовский // Тр. ЛИВТа. — Л.: Транспорт, 1976.
8. Звягинцев Н. В. Статистические характеристики коэффициентов динамичности металлических конструкций стрел грейферных порталных кранов / Н. В. Звягинцев, Н. Я. Розовский, Ю. В. Силиков // Тр. ЛИВТа. — Л.: Транспорт, 1972.

УДК 621.43.068

В. В. Гаврилов,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК;

В. Ю. Мащенко,
аспирант,
СПбГМТУ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПЛИВОПОДАЧИ И ЛОКАЛЬНЫХ ВНУТРИЦИЛИНДРОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ДИЗЕЛЕ С ОБЪЕМНЫМ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ CYBERDIESEL

MATH MODELING OF FUEL INJECTING AND LOCAL INSIDE CYLINDER PROCESSES IN SPRAY-TYPE DIESEL ENGINE BY PROGRAM OF CYBERDIESEL

Программа CyberDiesel разработана на теоретической основе комплексной математической модели топливоподачи и локальных внутрицилиндровых процессов дизеля с объемным смесеобразованием. Программа предназначена для решения практических задач согласования конструктивных и регулировочных параметров топливной аппаратуры и камеры сгорания дизеля методами математического моделирования.

The program CyberDiesel has been developed on theoretical base of complex math model of fuel injecting and local inside cylinder processes. The program is designed for solving of practical problems of coordination of fuel injecting equipment and a combustion chamber of diesel engines by math modeling methods.

Ключевые слова: дизель, впрыскивание топлива, топливная струя, горение топлива, топливная аппаратура, камера сгорания, математическое моделирование локальных внутрицилиндровых процессов, выброс NO, расход топлива.

Key words: diesel engine, fuel injection, fuel jet, fuel burning, fuel injecting equipment, combustion chamber, math modeling of local inside cylinder processes, NO emission, fuel outlay.



НАЛИЗ развития судовой энергетики показывает, что актуальность проблемы повышения экономических и экологических показателей дизелей не снижается. Одним из основных способов решения этой проблемы является согласование конструктивных парамет-

ров топливной аппаратуры (ТА) и камеры сгорания (КС) на этапах разработки нового и модернизации существующего дизеля. В настоящее время такое согласование выполняют путем главным образом дорогостоящих доводочных испытаний. Эффективным средством снижения стоимости и продолжительности доводочных испытаний является применение программного обеспечения, ориентированного на решение специальных задач при проектировании ТА и КС.

В настоящее время ощущается недостаток программных продуктов, имеющих свойство направленности на решение прикладных задач проектирования. Известные зарубежные программы (KIVA, Star-CD, FIRE и др.) дороги и громоздки. Расчеты с большим количеством трудноопределимых начальных и граничных условий не всегда приводят к достоверным результатам. Это осложняет их использование для решения поставленной прикладной задачи. Частично этот недостаток преодолен в известном отечественном программном комплексе «Дизель-ПК», разработанном в МГТУ им. Н. Э. Баумана. Его достоинством является удобный и интуитивно понятный для пользователя интерфейс. Несмотря на это, необходимо отметить, что «ядром» программного комплекса является математическая модель смесеобразования и сгорания топлива в КС, предложенная Н. Ф. Разлейцевым. Эта математическая модель более других известных моделей приспособлена к решению задач конструирования дизелей. Однако ей свойственны условность деления пространства, занимаемого топливным факелом, на зоны, а также произвольность задания границ указанных зон и параметров тепломассообмена в них. Отсутствие в распоряжении автора модели некоторых необходимых экспериментальных данных об этих параметрах не позволило ему достаточно строго смоделировать процессы смесеобразования и сгорания в дизеле и описать зависимость их качества от многих существенных факторов. Кроме того, количество эмпирических коэффициентов довольно велико, ввиду чего «настройка» модели, выполняемая по экспериментальным кривым тепловыделения базового варианта дизеля, весьма трудоемка.

Главная особенность развития современной теории ДВС состоит в расширении «локального подхода» при моделировании процессов в цилиндре. Известно, что неравномерность поля локальных параметров рабочего тела существенно влияет на процессы образования продуктов горения топлива, наиболее токсичными из которых являются оксиды азота. Поэтому при расчете их эмиссии локальный подход необходим. Важным шагом в этом направлении следует считать уточнение расчета поля температур в камере сгорания, что даст возможность исследовать влияние, в частности, профиля КС и характеристики впрыскивания топлива на рабочий процесс.

Имея в виду изложенное, разработчики программы CyberDiesel стремились придать базовой математической модели следующие свойства [1].

1. Возможность моделировать процесс топливоподачи и отслеживать его влияние на протекание внутрицилиндровых процессов.

2. Локальность описания параметров рабочего тела в КС. Именно это свойство может быть необходимым условием для того, чтобы результаты работы программы адекватно отражали влияние изменения профиля КС и параметров топливной ТА на индикаторные показатели рабочего цикла.

3. Подтвержденность адекватности математического моделирования результатами экспериментальных исследований. Причем это свойство должно относиться не только ко всей модели, но и к отдельным подмоделям комплекса процессов «топливоподача–смесеобразование–сгорание».

Предлагаемая программа базируется на следующих подмоделях элементарных процессов, происходящих в ТА и КС: топливоподача, распад струи топлива на капли, развитие испаряющейся топливной струи, перемешивание паров топлива с газом, предпламенные реакции, выделение теплоты при горении и образование оксида азота NO. В качестве исходных данных задаются конструктивные параметры топливной аппаратуры и камеры сгорания, теплофизические свойства топлива и воздуха, некоторые эмпирические коэффициенты и параметры расчетной сетки. Главными результатами расчета являются индикаторная диаграмма, характеристика тепловыделения, характеристика образования NO. В качестве промежуточных результатов выводятся характеристика топливоподачи, поля концентраций компонентов и скоростей рабочего тела, поля темпера-

тур и давлений. При этом важно отметить, что сопоставление результатов работы программы с экспериментами проведено не только для расчетных индикаторной диаграммы и характеристик тепловыделения, но также и для расчетов промежуточных процессов.

Процесс топливоподачи рассчитывается с использованием известной динамической модели. При этом способ решения системы уравнений был заимствован у Б. П. Пугачева. Практика расчетно-экспериментальных исследований показала, что при некоторых специфических исходных данных модель реагирует на изменение длины трубопровода высокого давления (ТВД) неадекватно: увеличение длины ТВД в соответствии с моделью приводит к уменьшению отставания импульса давления в форсунке относительно импульса в ТНВД. Пример такого расчетного варианта для дизеля ЧН30/38 (Д42), выполненный для длин ТВД 100 и 600 мм, приведен на рис. 1.

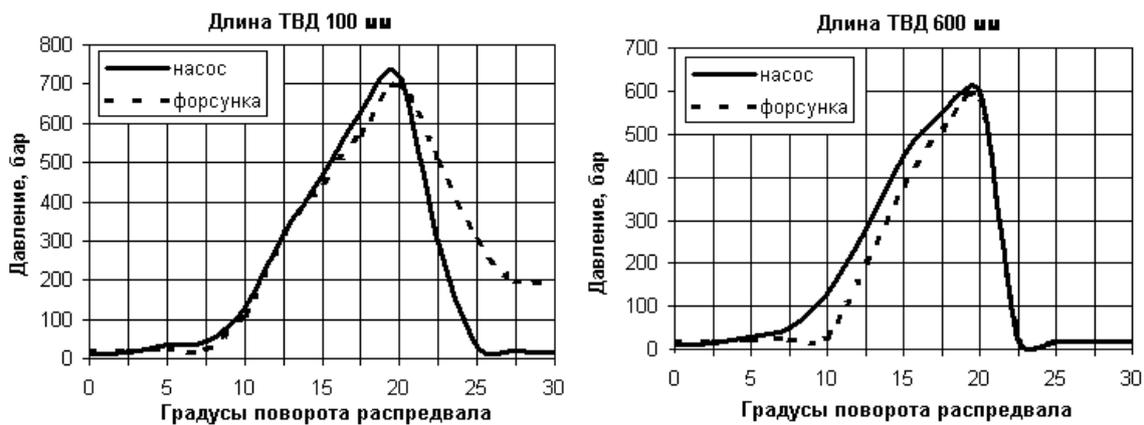


Рис. 1. Импульсы в топливной аппаратуре при базовом варианте граничных условий

Очевидно, что этот результат не соответствует действительности. Анализ выражений показал, что причина такой реакции заключается в неточности выражений для скоростей топлива в граничных сечениях трубки высокого давления.

Граничные условия базовой методики [2] задают значения скоростей движения топлива в начальном ($i = 0$) и конечном ($i = n$) сечениях ТВД по следующим уравнениям:

$$w_{0,j+1} = w_{0,j} + \frac{1}{\rho} \frac{\Delta \tau}{\Delta x} (p_{ш,j+1} - p_{1,j+1}),$$

$$w_{n,j+1} = w_{n,j} - \frac{1}{\rho} \frac{\Delta \tau}{\Delta x} (p_{ф,j+1} - p_{n-1,j+1}),$$
(1)

где Δx и $\Delta \tau$ — шаги расчетной сетки соответственно по координате расстояния ТВД x и координате времени τ ; i, j — номера узлов сетки, соответствующие условиям $x = i\Delta x$ ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) и $\tau = j\Delta \tau$ ($j = 0, 1, \dots$); $w_{i,j}$ — скорость в узле, $p_{i,j}$ — давление в узле, $p_{ш,j+1}$ и $p_{ф,j+1}$ — давление соответственно в штуцере ТНВД и форсунке на следующем шаге расчета по времени.

Предложенные уравнения граничных условий имеют следующий вид:

$$w_{0,j+1} = w_{0,j} + \frac{\Delta \tau}{\rho \Delta x} (p_{ш,j} - p_{1,j}) + \frac{\Delta \tau}{\Delta x} |w_{ш,j}| (w_{ш,j} - w_{1,j}),$$

$$w_{n,j+1} = w_{n,j} - \frac{\Delta \tau}{\rho \Delta x} (p_{ф,j} - p_{n-1,j}) - \frac{\Delta \tau}{\Delta x} |w_{ф,j}| (w_{ф,j} - w_{n-1,j}).$$
(2)

Сравнение выражений показывает, что (1) является частным случаем (2), если задать скорости в штуцере ТНВД и форсунке тождественно равными нулю $w_{ш,j} \equiv w_{ф,j} \equiv 0$. Известно, что в современных высокофорсированных дизелях скорости движения топлива в ТВД могут существенно

отличаться от нуля. Допущение о нулевых скоростях в граничных сечениях приводит к существенному занижению расчетного давления в ТВД (особенно в первом сечении).

На рис. 2 приведены графики, рассчитанные по уточненной нами методике (то есть с применением уравнений (2) граничных условий в ТВД) по исходным данным анализируемого расчетного варианта. В результате расчетов оказалось, что при увеличении длины ТВД увеличивается отставание по углу поворота распределительного вала (по времени) импульса давления в форсунке от импульса давления в ТНВД (см. рис. 2). Кроме того, максимум давления в форсунке заметно уменьшается. Полученный результат соответствует реальному процессу топливоподачи.

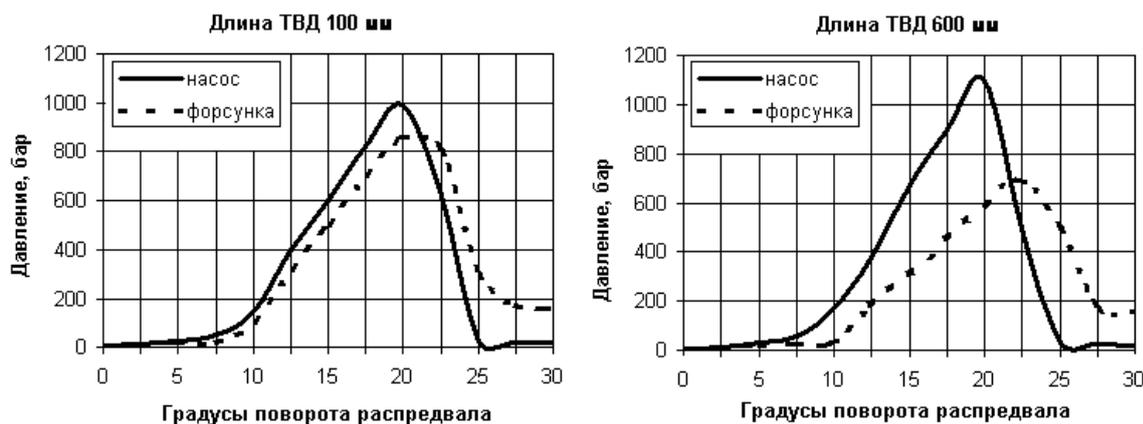


Рис. 2. Импульсы давления в топливной аппаратуре при уточненном варианте граничных условий

Сравнение расчетной и экспериментальной характеристик давления впрыскивания в зависимости от угла поворота распределителя, полученные для топливной аппаратуры дизеля ЧН30/38, представлены на рис. 3. Отклонение расчетных значений давления от опытных не превышает 120 МПа, что соответствует максимальной относительной погрешности 10 %.



Рис. 3. Характеристика давления впрыскивания

Масса i -й порции (индекс номера порции соответствует интервалу $i = 1, 2, \dots, n_p$) рассчитывается по среднему значению ординат характеристики впрыскивания на расчетном интервале времени:

$$m_{f_i} = \left(\overline{d\sigma / d\tau} \right)_i \frac{G_u}{2\tau_{впр} i_c} \Delta\tau. \quad (3)$$

Расчет процесса развития топливной струи построен на базе уравнений, описывающих комплекс процессов: продвижение капель, формирование спутного газового потока, взаимодействие двухфазной струи со стенками камеры сгорания.

Продвижение капель в пространстве КС моделируется согласно известному в классической гидромеханике методу Лагранжа. Для этого непрерывная характеристика впрыскивания дискретизируется с расчетным интервалом по времени $\Delta\tau$ так, что за каждый интервал вылетает из сопла форсунки одна расчетная порция топлива массой m_{f_i} .

Координата вектора скорости по оси абсцисс для i -й порции на выходе из соплового отверстия:

$$w_{xi} = \frac{m_{fi}}{\rho_f (\mu_c f_c) \Delta\tau} = \left(\overline{d\sigma/d\tau} \right)_i \frac{G_{ц}}{\rho_f (\mu_c f_c) \tau_{впр} i_c} \quad (4)$$

В формулах (3) и (4) $\left(\overline{d\sigma/d\tau} \right)_i$ — ордината относительной дифференциальной характеристики впрыскивания для i -й порции; $G_{ц}$ и ρ_f — соответственно цикловая подача и плотность топлива; μ_c и f_c — соответственно коэффициент расхода и площадь проходного сечения соплового отверстия; i_c — число сопловых отверстий в форсунке; $\tau_{впр}$ — время впрыскивания.

Проекцию вектора скорости на ось ординат для i -й порции на выходе из соплового отверстия можно рассчитать по формуле, полученной из теоретического решения О. Н. Лебедева:

$$w_{yi} = K_w \sqrt{\frac{\sigma_f}{\rho_f d_{32i}}}$$

где σ_f — коэффициент поверхностного натяжения топлива, ρ_f — плотность топлива, K_w — численный коэффициент.

Средний заутеровский диаметр капли d_{32i} является постоянным в пределах i -й порции и вычисляется по известной формуле Танасавы:

$$d_{32i} = C_d \sqrt{g} \frac{d_c}{w_i} \left(\frac{\sigma_f}{10\rho_f} \right)^{0,25} \left(1 + 0,331 \mu_c f_c \sqrt{\frac{10g}{\sigma_f \rho_f d_c}} \right)$$

где σ_f — коэффициент поверхностного натяжения топлива, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения; d_c — диаметр соплового отверстия; C_d — численный коэффициент; w_i — модуль вектора скорости для i -й порции; $w_i^2 = w_{xi}^2 + w_{yi}^2$.

Соппротивление движению каплей в вязкой среде вычисляем, используя известную из классической гидромеханики формулу для обтекания тела шарообразной формы. Проекция векторов ускорения для i -й порции:

$$\frac{dw_{kxi}}{d\tau} = -C_{Dx} \times \frac{\rho_a}{\rho_f} \times \frac{(w_{kxi} - w_{axi})^2}{d_{32i}},$$

$$\frac{dw_{kyi}}{d\tau} = -C_{Dy} \times \frac{\rho_a}{\rho_f} \times \frac{(w_{kyi} - w_{ayi})^2}{d_{32i}},$$

где C_{Dx} и C_{Dy} — эмпирические коэффициенты сопротивления движению капли соответственно в направлениях x и y ; w_k и w_a — скорости движения соответственно капли и воздуха.

$L, X_{цт}, \text{мм}$ $i \times d_c = 8 \times 0,32 \text{ мм}, \rho_a = 12,8 \text{ кг/м}^3$

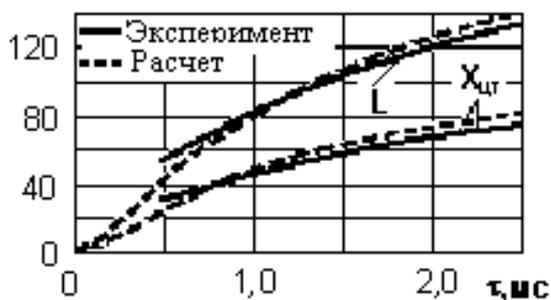


Рис. 4. Характеристики дальности и положения центра масс струи

На рис. 4 представлены расчетные и соответствующие экспериментальные характеристики движения топливной струи для ТА дизеля ДН23/30 (40Д). Оказалось, что различие расчетных и экспериментальных значений исследуемых величин не превышает 10%. Попутно заметим, что координата центра массы впрыснутого топлива $X_{цт}$ находится на расстоянии, примерно соответствующем половине дальности струи L . Это замечание справедливо для всего времени впрыскивания. Следовательно, предполагаемое некоторыми авторами необратимое накопление основной массы

топлива в головной части струи не подтверждается ни экспериментом, ни расчетом по программе CyberDiesel.

Особенностью расчета процесса топливной струи является допущение о потенциальности газового потока, что позволило использовать метод конформных отображений для расчета поля скоростей в КС [3]. Уравнения построены согласно известному принципу Эйлера, теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены [1].

Моделирование газового потока в КС выполнено на основе метода суперпозиции гидродинамических особенностей, который позволяет получить суммарный комплексный потенциал потока. Влияние движения частиц топлива на поле скоростей газа смоделировано в виде течения от плоских диполей. Газовый поток, направленный вдоль оси цилиндра, представляет собой плоскопараллельное течение, скорость которого на поверхности поршня равна скорости его движения, а на поверхности крышки цилиндра равна нулю. Изменение указанной скорости вдоль направления движения происходит по линейной зависимости. При моделировании задач обтекания профиля КС сложной формы (для которого невозможно найти единую функцию конформного отображения), его следует разбить на несколько простых элементов (дуг окружностей, прямых и т. д.), для которых такие функции известны.

Поле скоростей рабочего тела оказывает существенное влияние на формирование поля концентраций в КС, следовательно, и на характер последующих предпламенных реакций, а также на характеристики тепловыделения. Алгоритм предпламенных реакций реализован с использованием теоретических разработок [1]. Он учитывает так называемые цепное и тепловое ускорения реакций, а также зависимость их скорости от локальных концентраций реагентов. На рис. 5 представлено расчетное исследование поля температур газовой фазы в испаряющейся топливной струе дизеля ДН23/30 на момент времени 0,25 мс от начала впрыскивания (ось соплового отверстия направлена горизонтально). Как видно из рисунка, в струе наблюдается снижение температуры. Причем градиент температуры в той части поля, которое занимает струя, направлен от некоторого центра, лежащего на оси струи. Результаты расчета поля температур для моментов времени, близких к окончанию периода задержки воспламенения, позволяют определить положение очагов пламени.

Горение топлива и эмиссия окислов азота в продуктах сгорания в локальных зонах КС рассчитываются с использованием кинетических уравнений. Средние по цилиндру параметры состояния рабочего тела для текущего времени вычисляются путем интегрирования дифференциальных уравнений, выведенных из первого закона термодинамики и уравнения состояния:

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{1}{c_v m} (\Delta x G_{\text{ц}} Q_{\text{н}} (1 - K_{\text{о}}) - \Delta \sigma G_{\text{ц}} Q_{\text{н}} - p dV - c_v T G_{\text{ц}} dx),$$

$$\frac{dp}{d\tau} = p \left[m^{-1} G_{\text{ц}} \frac{dx}{d\tau} + T^{-1} \frac{dT}{d\tau} - V^{-1} \frac{dV}{d\tau} \right],$$

где p — давление рабочего тела в КС; m — масса рабочего тела в КС; V — объем КС; T — температура рабочего тела в КС; c_v — удельная изохорная теплоемкость рабочего тела в КС; Δx — относительная доля топлива, выгоревшего на текущем шаге по времени; $\Delta \sigma$ — относительная доля топлива, испарившегося на текущем шаге по времени; $G_{\text{ц}}$ — цикловая подача; $Q_{\text{н}}$ — низшая теплота сгорания топлива; $Q_{\text{п}}$ — теплота парообразования топлива; $K_{\text{о}} \cong 0,10 \dots 0,30$ — эмпирический коэффициент, назначаемый по анализу теплового баланса двигателя-прототипа и выражающий

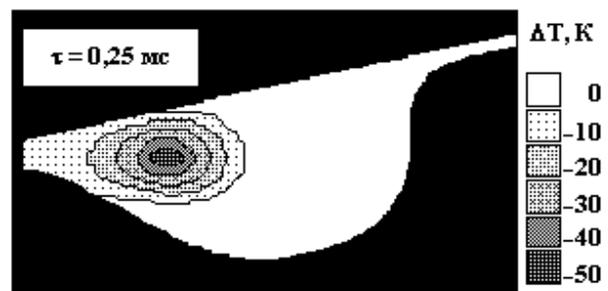


Рис. 5. Расчетное распределение температуры газовой фазы в испаряющейся топливной струе в дизеле типа ДН 23/30

относительную величину тепловых потерь в окружающую среду (с охлаждающей водой, маслом, потери через внешние поверхности двигателя и потери, не подлежащие учету).

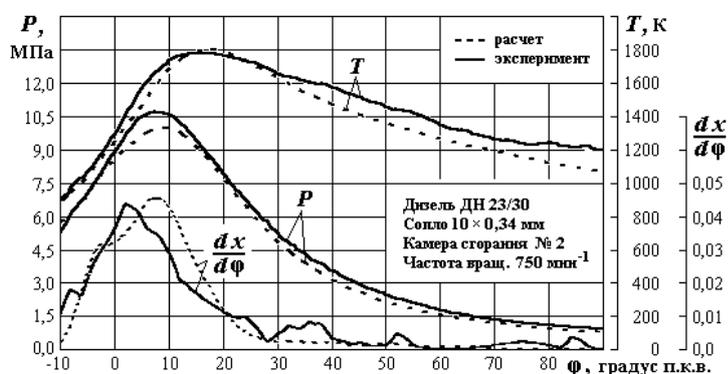


Рис. 6. Пример расчетных и экспериментальных характеристик давления, температуры и относительной скорости тепловыделения

Масса выгоревшего топлива и масса образовавшегося NO для текущего времени вычисляются путем интегрирования соответствующих локальных параметров по пространству КС.

Пример сравнения расчетных индикаторных диаграмм и характеристик тепловыделения с соответствующими экспериментальными данными представлен на рис. 6. Видим, что отклонение расчетных значений давления от экспериментальных не превышает 1 МПа, что соответствует максимальной относительной погрешности менее 10 %. Относительные погрешности характеристик температуры и скорости тепловыделения не превышают соответственно 10 % и 20 %.

Таким образом, исследования показали, что результаты математического моделирования процессов топливopодачи и внутрицилиндровых процессов (включая элементарные процессы, промежуточные и завершающие стадии комплекса процессов) вполне удовлетворительно совпадают с результатами экспериментов. Это означает, что использование предложенной программы CyberDiesel в дизелестроительной практике позволит решать вопросы согласования конструктивных и регулировочных параметров дизеля и добиваться за счет этого повышения его технико-экономических и экологических показателей.

Список литературы

1. Гаврилов В. В. Методы повышения качества смесеобразования и сгорания в судовом дизеле на основе математического и физического моделирования локальных внутрицилиндровых процессов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В. В. Гаврилов. — СПб.: СПбГМТУ, 2004. — 43 с.
2. Работа дизелей в условиях эксплуатации. / А. К. Костин, Б. П. Пугачев, Ю. Ю. Кочнев; под ред. А. К. Костина. — Л.: Машиностроение, 1989. — 284 с.
3. Щукин П. А. Комплексная математическая модель рабочего процесса дизеля с объемным смесеобразованием: автореф. дис. ... канд. техн. наук / П. А. Щукин. — СПб.: ЦНИДИ, 1999. — 22 с.

УДК 623.592:519.718

А. А. Боран-Кешишьян,
канд. техн. наук, доцент,
ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова;

Е. В. Хекерт,
д-р техн. наук, профессор,
ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова

НАДЕЖНОСТЬ ЭРГАТИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ МОРСКИХ ТРЕНАЖЕРНО-ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ

RELIABILITY OF ERGATIC COMPONENTS OF MARINE SIMULATION TRAINING SYSTEMS

В статье изложены основные методы и модели оценки надежности эргатических составляющих морских тренажерно-обучающих систем.

The article defines the general methods and models for reliability estimation of ergatic components of marine simulation training systems.

Ключевые слова: тренажерно-обучающие системы, надежность систем «человек–машина», надежность эргатических составляющих технических систем.

Key words: simulation training systems, reliability of man-machine systems, reliability of ergatic components of technical systems.

НА сегодняшний день в современных международных требованиях и отечественных программах подготовки специалистов морского флота наиболее активно применяются и постоянно внедряются новые тренажеры. Применение данных сложных технических систем при профессиональной подготовке, переподготовке и повышении квалификации плавсостава вызывает необходимость решения проблем и задач, связанных не только с организационно-методическими аспектами профессионального обучения на тренажерно-обучающих системах (ТОС), но и с вопросами определения их структуры, классификации и эффективности применения. Одним из важнейших аспектов эффективности и оценки качества профессиональной подготовки моряков на ТОС является оценка их надежности. Вопросы оценки надежности технических систем и программного обеспечения могут быть представлены в терминах теории вероятностей, что предполагает точную числовую меру значения надежности указанных объектов. При этом расчет надежности технических систем базируется на трех основных допущениях: 1) предполагается взаимная независимость по надежности элементов техники, а следовательно, независимость возникновения отказов; 2) считается, что функционирование техники дискретно; 3) имеет место линейность, которая предполагает, что реакция технической системы на сумму входных сигналов равна сумме реакций на каждый выходной сигнал в отдельности. Исследования показывают [1, с. 358–367], что в отношении человека-оператора эти допущения не работают. Поэтому анализ надежности его работы должен включать в себя, кроме чисто количественного подсчета ошибок и нарушений и изучения их временного распределения, еще и качественный анализ ошибок и отказов по их характеру, важности и степени их влияния на конечный результат операторской деятельности. Поскольку основным условием надежности деятельности человека-оператора является поддержание заданного уровня работы на протяжении определенного отрезка времени, надежность работы человека-оператора может быть определена как особенность сохранять оптимальные рабочие параметры личности (индивида).

Из ряда количественных показателей, используемых при оценке надежности указанного класса систем, в область изучения надежности человека-оператора могут быть перенесены следующие:

- 1) вероятность нахождения человека-оператора в работоспособном состоянии в момент времени t , обозначаемая $P(t)$;
- 2) функция готовности $\Gamma(t)$ — вероятность того, что человек-оператор работоспособен в любой, случайно выбранный момент времени $t_2 > t$, которая через некоторое время принимает постоянное значение, называемое коэффициентом готовности K_Γ ;
- 3) среднее время между двумя отказами (безопасной работы) — \bar{T}_1 ;
- 4) среднее время пребывания человека-оператора в подмножестве работоспособных состояний после восстановлений — T_2 .

Кроме того, в качестве вспомогательных показателей можно использовать: общее число отказов (ошибок) за данный промежуток времени и процент выполненных (несорванных отказами) заданий.

В эргономике и инженерной психологии не принято рассматривать надежность собственно человека-оператора, а, как правило, рассматривается надежность системы «человек–машина» (СЧМ). В нашем случае это система «руководитель тренажерной подготовки–средства управления», которая характеризуется показателями структурной надежности $P(t)$, K_Γ , T_1 , T_2 , в отличие от функциональной, характеризуемой вероятностями безошибочного и ошибочного выполнения действий, математическим ожиданием и дисперсией времени их выполнения [2].

В любой момент времени система «человек–машина» СЧМ находится в некотором состоянии надежности X_i из множества возможных X , $x_i \in X$. Последовательность переходов системы из состояния в состояние представляет собой случайный процесс перемещения системы в пространстве состояний (траекторию). Подмножество $X_0 \leq X$ означает подмножество неработоспособных (отказовых) состояний, а подмножество $X_p = X / X_0$ — работоспособных состояний, при $t = 0$ система находится в начальном состоянии x_q . Если система может перейти из i -го состояния в любое другое $x_j \in X$, то множество X эргодичное. Выделение подмножеств X_0 , X_p , состояния x_q и установление факта эргодичности множества X всегда может предшествовать построению моделей структурной надежности восстанавливаемых нерезервированных СЧМ. Предполагается, что потоки событий перехода системы из состояния в состояние являются простейшими, что позволяет получать оценки структурной надежности снизу, то есть фактические показатели всегда будут выше. При этом случайный процесс изменения состояний будет однородным марковским процессом с непрерывным временем.

В [3, с. 3–10] показано, что математические модели для оценки структурной надежности СЧМ зависят от степени автоматизации, вида функций человека-оператора и режима восстановления технической (машинной) и эргатической (человеческой) составляющих. С учетом этого СЧМ может находиться в следующих состояниях:

- 1) человек работоспособен, техника исправна (\bar{C} , T);
- 2) человек неработоспособен, техника исправна (C , \bar{T});
- 3) человек работоспособен, техника неисправна (\bar{C} , \bar{T});
- 4) человек неработоспособен, техника неисправна (C , T).

Надежность технической составляющей характеризуется интенсивностью отказов λ и интенсивностью восстановления μ , а эргатической — интенсивностью отказов ξ и интенсивностью восстановления работоспособности ν . Графы на рис. 1 иллюстрируют виды СЧМ, состоящей из специалиста C , осуществляющего функции по управлению (оператора или эргатического резерва) или обслуживанию (ремонту) технической части T .

В соответствии с определением СЧМ решение задач управления может осуществляться только при совместном участии оператора и технической части. Кроме того C может осуществлять восстановление T и быть эргатическим резервом. Восстановление как C , так и T может быть независимым (рис. 1, а) и зависимым, когда T восстанавливается C , находящимся в работоспособном состоянии (рис. 1, б).

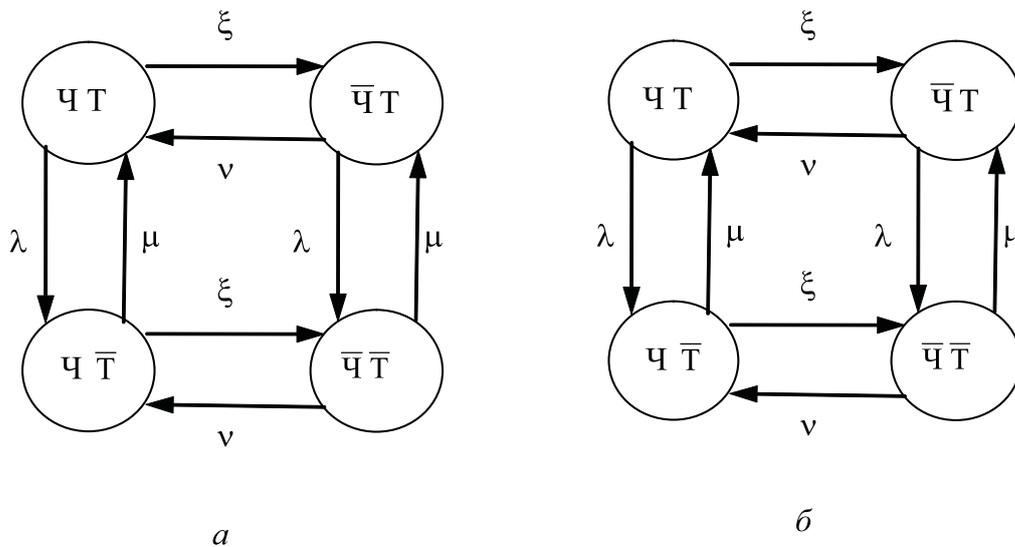


Рис. 1. Графы соответствующие различным видам СЧМ:
 а — с независимым восстановлением связи с эргатическим резервом,
 б — с зависимым восстановлением с и без эргатического резерва

Введены дополнительные безразмерные коэффициенты, характеризующие:

- 1) относительную структурную надежность техники $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = 10^{-3} - 1$;
- 2) относительную структурную надежность специалиста $\omega = \frac{\xi}{v} = 10^{-3} - 1$;
- 3) соотношение безотказности техники и специалиста $K = \frac{\lambda}{\xi} = 10^{-3} - 10^3$.

Для расчета показателей структурной надежности для СЧМ с эргатическим резервом и независимым восстановлением можно воспользоваться следующей формулой:

$$\Gamma(t) = \frac{v}{\xi + v} \left[1 + \frac{\xi}{v} e^{-(\xi+v)t} \right], \quad K_{\Gamma} = \frac{v}{\xi + v}, \quad T_1 = \frac{1}{\xi}.$$

Относя тренажерно-обучающие системы к представителям СЧМ, возникает задача оценки надежности эргатических звеньев (руководителя тренажерной подготовки и обучающихся). В эргономике и инженерной психологии рассматриваются два вида надежности эргатических звеньев СЧМ: функциональная (вероятностные показатели безошибочности и быстродействия) и структурная (вероятностные показатели готовности). Однако чаще всего рассматривается надежность функционирования и готовности СЧМ.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о необходимости разработки новых методов и моделей расчета и анализа надежности сложных тренажерно-обучающих систем из-за неполной информации о надежности их эргатических элементов.

Список литературы

1. Небылицин В. Д. Надежность работы оператора в сложной системе управления / В. Д. Небылицин // Инженерная психология. — М.: Изд-во МГУ 1964.

2. *Попович П. Р.* Эргономическое обеспечение деятельности космонавтов / П. Р. Попович, А. И. Губинский, Г. М. Колесников. — М.: Машиностроение, 1985. — 272 с.
3. *Губинский А. И.* Исследование эффективности судовых автоматизированных систем управления / А. И. Губинский, В. В. Кобзев, Ю. Б. Гречко // Тр. ЦНИМФ. — 1971. — Вып. 146.
4. *Недзельский И. И.* Морские навигационные тренажеры: проблемы выбора / И. И. Недзельский. — СПб.: ГНЦ РФ «Электронприбор», 2006. — С. 40.

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

УДК 629.12.066

В. М. Приходько,
канд. техн. наук, доцент,
СПГУВК;

М. А. Ивлев,
канд. техн. наук,
филиал «Севмаш ВТУЗ»
СПГМТУ;

И. В. Приходько,
аспирант,
СПГУВК

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ СУДОРЕМОНТНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

FORECASTING OF THE POWER CONSUMPTION OF THE SHIP-REPAIR ENTERPRISE

Определены основные характеристики усредненного графика электропотребления судоремонтным предприятием. В качестве базиса для выполнения прогноза на любой период времени используется усредненный график электропотребления судоремонтным предприятием за прошедший полный («базовый») год.

The basic characteristics of the average schedule of a power consumption of the ship-repair enterprise are defined. As the basis for performance of the forecast for any period of time the average schedule of a power consumption of the ship-repair enterprise for the last full ("base") year is used.

Ключевые слова: эффективность, методика прогнозирования, электропотребление, судоремонтное предприятие, корреляционные функции, узлы нагрузки, потребители электроэнергии, графики электрической нагрузки, корреляционные коэффициенты.

Key words: efficiency, a forecasting technique, power consumption, the ship-repair enterprise, correlation functions, loading knots, consumers of the electric power, a drawing of electric loading, correlation factors.

О ПРЕДЕЛИМ основные характеристики усредненного графика электропотребления. При этом нет необходимости рассматривать все интервалы измерения; ниже рассмотрим характерные участки этого графика с заметными изменениями потребления мощности, а именно точки измерения с 17-й по 40-ю включительно [1]. Вид суточного графика потребления электроэнергии судоремонтным предприятием показан на рис. 1.

Среднее значение графика нагрузки определим по выражению

$$P_c = \frac{1}{t_u} \int_0^{t_u} p(t) dt, \quad (1)$$

где t_u — время цикла (длительность графика).

Для ступенчатых графиков при условии, что периоды усреднения данных одинаковы, выражение (1) приобретает вид

$$P_c = \frac{\sum_{k=1}^M P_k}{M}, \quad (2)$$

где P_k — значение нагрузки k -й ступени, M — число ступеней графика.

В соответствии с (2) среднее значение группового графика $P_c = 11421,3$ кВт.

Среднеквадратичное значение может быть определено по выражению

$$P_{ск} = \sqrt{\frac{1}{t_{ц}} \int_0^{t_{ц}} P^2(t) dt} \quad \dots (3)$$

Для ступенчатых графиков выражение (3) примет вид

$$P_{ск} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^M P_k^2}{M}}, \quad (4)$$

и величина среднеквадратичного значения $P_{ск} = 11\ 590$ кВт (при этом $P_{ск}^2 = 13\ 433\ 10^4$ кВт²).

Дисперсия графика нагрузки является характеристикой его неравномерности и определяется по выражению

$$DP = P_{ск}^2 - P_{ск}^2 \quad (5)$$

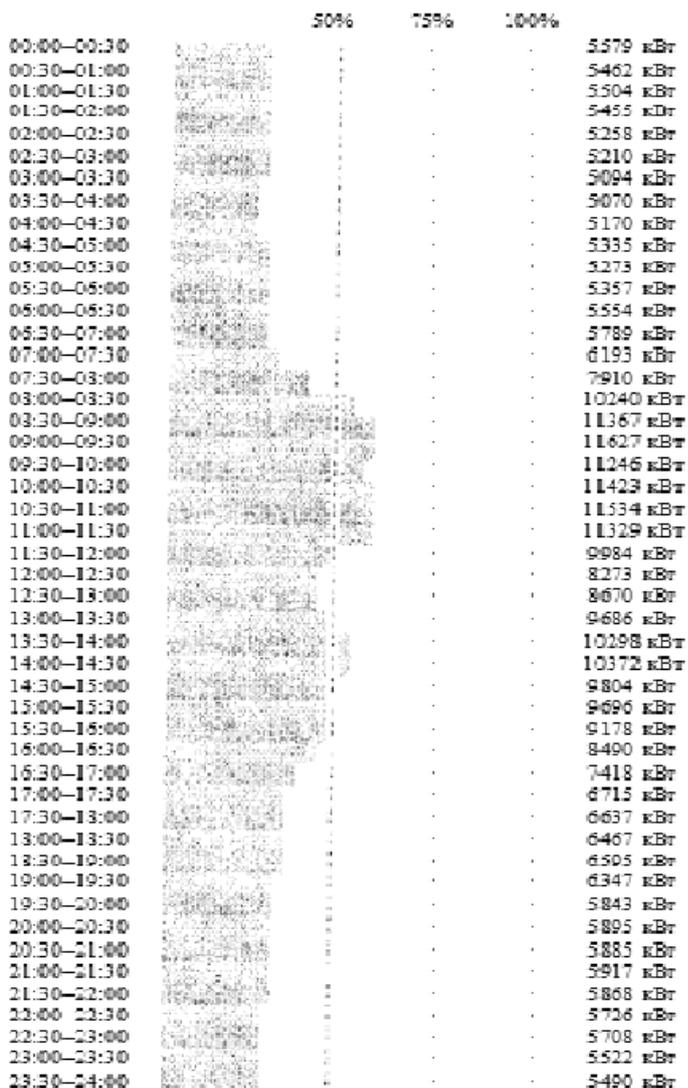


Рис. 1. График электропотребления судоремонтным предприятием

и для рассматриваемого графика равна $DP = 3,882 \cdot 10^6$ кВт².

Среднеквадратическое отклонение графика нагрузки определяется как

$$\sigma P = \sqrt{DP}, \quad (6)$$

и для рассматриваемого графика равно $\sigma P = 1970,3$ кВт.

Коэффициент формы графика $K_{\phi} = P_{ск}/P_c = 1,0148$.

Коэффициент максимума графика $K_M = P_M/P_c = 1,2622$, при этом P_M — максимальное значение одного из получасовых отрезков графика.

Коэффициент заполнения графика нагрузки $K_z = P_c/P_M = 1/K_M = 0,7923$.

Коэффициент неравномерности $K_{н} = P_{min}/P_M = 0,5839$, при этом P_{min} — минимальное значение одного из получасовых отрезков графика.

Модель графика нагрузки применяется в качестве исходной информации при расчетах систем электроснабжения (вместо непосредственно параметров электропотребления) с целью повышения точности расчетов.

Рассматриваемый участок графика электропотребления предприятия точно описывается трехступенчатой моделью, вид которой показан на рис. 2.

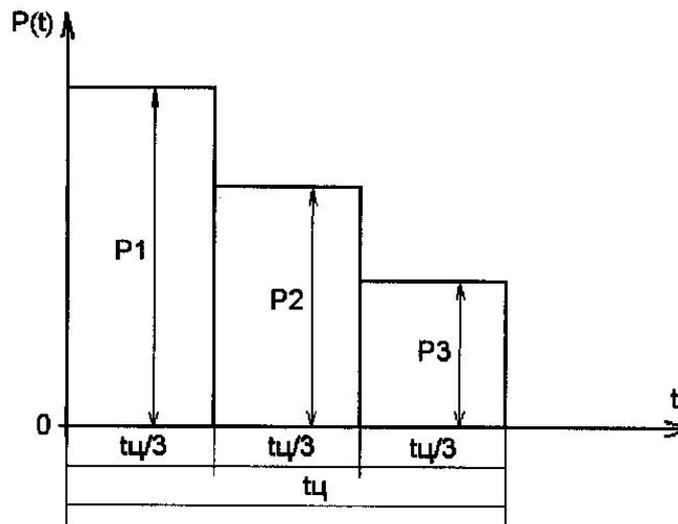


Рис. 2. Трехступенчатая модель графика нагрузки

Приведенные выше числовые характеристики графика нагрузки справедливы и для этой модели.

Автокорреляционная функция такой модели описывается соотношениями:

$$kp(\tau) = \begin{cases} Dp(1 - 4,5\tau/t_{ц}), & 0 \leq \tau \leq t_{ц}/3 \\ -0,5Dp, & t_{ц}/3 \leq \tau \leq 2t_{ц}/3 \\ Dp(4,5\tau/t_{ц} - 3,5), & 2t_{ц}/3 \leq \tau \leq t_{ц} \end{cases} \quad (7)$$

Вид автокорреляционной функции показан на рис. 3.

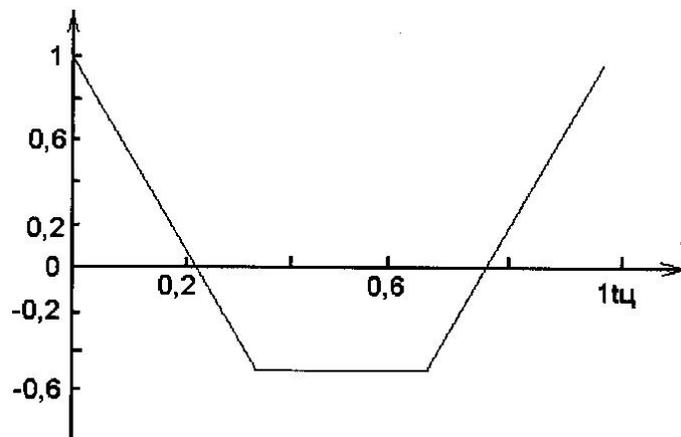


Рис. 3. Автокорреляционная функция модели графика нагрузки

Полученные результаты позволяют определить функцию распределения $F(P)$, являющуюся неубывающей функцией мощности (рис. 4).

Оценка вида распределения может быть осуществлена с использованием критерия статистики Колмогорова–Смирнова; сравнением его со значениями, приводимыми в справочной литературе, определяют степень сходимости эмпирического и теоретического распределений.

Вычисляя корреляционные коэффициенты графиков нагрузки, снятых при наличии различных внешних определяющих факторов, а также графиков, снятых в различных узлах энергосистемы, можно прогнозировать электропотребление предприятия [2].

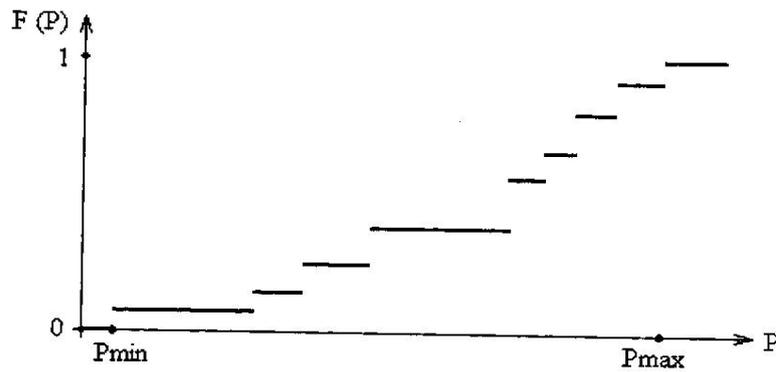


Рис. 4. Функция распределения

Прогнозирование количественных характеристик процесса электропотребления имеет целью, во-первых, оптимизацию процесса оперативного управления энергосистемой потребителя, во-вторых, получение данных для установления величины заявленной мощности потребителя [3, с. 263–265].

Как известно, промышленные потребители с установленной мощностью электроприемников более 750 кВА используют при расчетах с поставщиком энергии двухставочную систему [4], при которой, кроме фактически потребленной электроэнергии (определяется по данным приборов учета), оплачивается еще и так называемая заявленная мощность — некоторая величина потребляемой активной мощности, которую предприятие-потребитель обязуется не превышать в часы максимума нагрузок энергосистемы; при этом доля оплаты заявленной мощности в структуре затрат на электроэнергию достигает 35...40 %. По сложившейся практике величина заявленной (и, следовательно, оплачиваемой вне зависимости от фактического потребления) мощности определяется потребителем приблизительно (неточно), что часто приводит к необоснованной переплате, а превышение фактической мощности над заявленной — к применению в отношении потребителя штрафных санкций.

Предлагаемый метод выполнения прогноза электропотребления промышленного потребителя основан на использовании коэффициентов корреляции, которые находятся по определенным, рассмотренным ниже критериям, путем статистической обработки архивных массивов данных, описывающих процесс электропотребления конкретного предприятия.

Как указывалось выше, графики потребления активной мощности за различные рабочие дни имеют одинаковую форму и местонахождение точек максимумов и различаются только количественно (конкретными значениями мощности) под влиянием ряда факторов. Определив их природу и степень влияния на интересующий нас процесс, можно с высокой точностью осуществлять прогнозирование электропотребления.

В качестве базиса для выполнения прогноза на любой период времени используется усредненный график электропотребления за прошедший полный («базовый») год. Базовый график имеет форму, характерную для любого рабочего дня, и в зависимости от конкретных условий периода прогнозирования корректируется для определения точных параметров электропотребления, то есть сдвигается по оси мощности для определения максимальной потребляемой мощности и масштабируется по оси времени для определения времени достижения максимумов электропотребления.

В предлагаемом методе все многообразие факторов, влияющих на потребление электроэнергии, учитывается путем введения в рассмотрение совместно с усредненным базовым графиком четырех корректирующих коэффициентов — сезонного (K_C), температурного (K_T), коэффициента загрузки основного производства (K_3) и режима работы (K_p). Для всяких начальных условий, определяемых параметрами периода прогнозирования, указанные коэффициенты имеют свои зна-

чения и, будучи выраженными в абсолютных единицах (мощности и времени), однозначно изменяют положение базового графика в системе координат «время–мощность», превращая его таким образом в искомый прогноз электропотребления.

Месячный коэффициент K_M учитывает, в основном, влияние на электропотребление режима работы часто используемых или неотключаемых потребителей, использование которых зависит в первую очередь от времени года, а не от температуры наружного воздуха (электроосвещение, электроотопление, системы кондиционирования и др.). Определение величины K_M производится следующим образом: для каждого месяца определяется свой усредненный график потребления электроэнергии (для рабочих дней), и разница между базовым и усредненным месячным графиком даст числовое значение K_M . Для определения коэффициента используются статистические данные о потреблении энергии за рассматриваемый базисный год. Пример нахождения K_M проиллюстрирован на рис. 5, при этом $K_M = (K_{M1} + K_{M2} + K_{M3})/3$.

Температурный коэффициент K_T позволяет учитывать влияние температуры окружающей среды на потребление электроэнергии. Для его определения также используются данные об электропотреблении за базисный год; при этом для каждой сезонной зоны строятся графики потребления с усреднением по рабочим дням с одинаковой среднесуточной температурой с шагом в 1°C . Разность между усредненным сезонным графиком и каждым усредненным температурным графиком даст значение K_T для каждой температуры наружного воздуха.

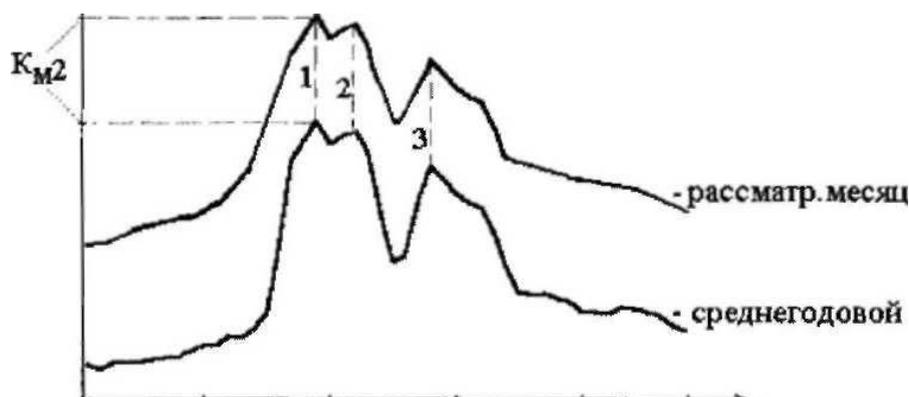


Рис. 5. Определение K_M

Коэффициент загрузки K_3 вводится в виде множителя, большего или меньшего единицы, и зависит от степени загрузки основного производства и определяется по данным, предоставляемым службой оперативного планирования производства. Загрузка вспомогательного производства, влияющая на электропотребление, может быть принята постоянной, что соответствует принятым на предприятии методам планирования работ по вспомогательному производству.

Коэффициент режима работы K_p влияет на положение максимумов нагрузки по оси времени и зависит от сроков начала и окончания рабочего дня. Определение корректирующих коэффициентов.

Определение справедливости предположений о составе и влиянии вышеперечисленных корректирующих коэффициентов на величину потребления предприятием активной мощности производилось следующим образом.

1. Определение (по имеющимся массивам статистических данных) в пределах одного месяца рабочих дней с одинаковой загрузкой производства, но с различной температурой наружного воздуха;

2. Составление корреляционных таблиц по имеющимся данным мощности и температуры; отыскание параметров выборочного уравнения прямой линии регрессии по сгруппированным данным;

3. Вычисление коэффициента корреляции; анализ полученных данных (по п. 1–3 определяется наличие зависимости величины потребляемой мощности от температуры наружного воздуха).

4. Определение дней, имеющих при прочих равных условиях разное значение загрузки производства, повторение действий по п. 2, 3 (по п. 4 определяется наличие зависимости величины потребляемой мощности от загрузки производства).

5. Аналогичным образом можно определить влияние сезонного фактора, учитываемого коэффициентом K_M , на величину потребляемой мощности.

Проведенный статистический анализ показал наличие зависимости величины потребляемой мощности от вышеуказанных факторов и обоснованность введения указанных корректирующих коэффициентов.

Процесс вычисления численных значений коэффициентов производится при помощи специализированного программного обеспечения ПЭВМ. Обработка архивных данных о потреблении электроэнергии осуществляется путем обращения программы к архивам автоматизированной системы учета и контроля электропотребления.

Процесс выполнения прогноза автоматизирован. Исходной информацией, задаваемой пользователем, являются временные рамки прогнозируемого периода и сведения о предполагаемых среднесуточных температурах наружного воздуха на период прогнозирования. Программа автоматизированного прогнозирования электропотребления в соответствии с заданными начальными условиями выбирает значения коэффициентов, корректирующих базовый график, и выводит полученный результат в графической и табличной форме.

Результаты прогнозирования используются для определения величины заявленной мощности на ближайший расчетный период и оптимизации управления группами потребителей электроэнергии.

Список литературы

1. Головкин П. И. Энергосистема и потребители электрической энергии / П. И. Головкин. — М.: Энергоатомиздат, 1984.

2. Вадзинский Р. Н. Справочник по вероятностным распределениям / Р. Н. Вадзинский. — СПб.: Наука, 2001.

3. Ивлев М. Л. Разработка методики прогнозирования электропотребления промышленного предприятия / М. Л. Ивлев, А. И. Черевко // Вестник УГТУ–УПИ. — Екатеринбург, 2003. — Ч. 2. — № 5 (25): Электромеханические и электромагнитные преобразователи энергии и управляемые электромеханические системы.

4. Электротехнический справочник. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — Т. 1.

РОССИЙСКОЕ РЕЧНОЕ СУДОСТРОЕНИЕ В XXI В.

RUSSIAN RIVER SHIPBUILDING IN XXI CENTURE

Выполнен анализ работы российских речных судостроительных предприятий в XXI в., их загруженность, объемы заказов на строительство судов различного назначения, сотрудничества отрасли с металлургическими и машиностроительными предприятиями.

The analysis of work of the Russian river ship-building enterprises in XXI century, their occupancy, volumes of orders for building of various purpose vessels, cooperation of the branch with metallurgical and machine-building enterprises is executed.

Ключевые слова: судостроительные заводы, речные суда, «Волго-Дон макс» класс, стальной прокат, дизеля, полноповоротные винто-рулевые колонки, прогноз.

Key words: ship-building plants, river vessels, "Volgo-Don max" class, rolled steel, diesel engines, rudder-propellers, forecast.



ОСТАНОВКА проблемы. Представление о речном судостроении в России формируется значительным количеством заводов, расположенных на внутренних водных путях. Среди них есть предприятия, которые раньше относились к системе Минсудпрома («Красное Сормово», Окская судовой верфь, Волгоградский СЗ и др.), Министерству речного флота РСФСР (Невский ССЗ и др.), Минрыбхозу, Минобороны, Министерству морского флота и т. п. Появились новые предприятия (Онежский СЗ). Такой достаточно широкий спектр бывшей ведомственной подчиненности длительное время (после распада СССР) не позволял эффективно оценить потенциал речной судостроительной отрасли в целом. По сути, на нее мало кто обращал внимание, несмотря на то что многие из заводов продолжали работать.

Целью статьи является анализ работы речных судостроительных предприятий в XXI в., их загруженность, объемы заказов на строительство судов различного назначения, сроки исполнения заказов, сотрудничество отрасли с металлургическими и машиностроительными предприятиями.

Изложение основного материала. Суда, усилиями ведущих частных судовладельцев – «Волжского пароходства», «Северо-Западного пароходства», группы компаний «Палмали», «Московского речного пароходства», строились. Однако, как правило, речь идет о судах смешанного море-река плавания, так как чисто речные суда имели (в рамках действовавшего до конца прошлого года законодательства) сроки окупаемости 20–25 лет, что абсолютно неприемлемо для частных инвесторов.

Изменение подходов наметилось в конце первого десятилетия XXI в., когда стало ясно, что транспортные речные и река–море суда, построенные в 1970–1980-е гг., а также вспомогательный флот, обеспечивающий путевые условия на реке, исчерпают свой ресурс в ближайшие 5–10 лет.

Поддержка государства. 7 ноября 2011 г. Президент Российской Федерации Дмитрий Медведев подписал федеральный закон [5] о поддержке российского судостроения и судоходства, в соответствии с которым судостроительные заводы — резиденты особых экономических зон были освобождены от уплаты земельного налога и налога на имущество организаций сроком на 10 лет. Также верфи освобождены от уплаты таможенных пошлин на ввозимое импортное оборудование, не производящееся в стране. В свою очередь судоходные компании были освобождены от налога на прибыль, полученную от эксплуатации или продажи судов, построенных в РФ, и на период с 2012 г.

по 2027 г. для этих компаний устанавливаются нулевые тарифы страховых взносов в Пенсионный фонд, Фонд социального страхования и Федеральный фонд обязательного медицинского страхования. Преференциями и льготами, предусмотренными данным законом, будут пользоваться судовладельцы, имеющие суда, построенные с 1 января 2010 г. в России и для России (зарегистрированные в Российском международном реестре судов, в том числе речные и река–море плавания).

Подобный интерес государства не случаен, так как уровень развития судостроения, как и авиационно-космической промышленности, является признаком развития страны, ее научно-технического потенциала, «локомотивом» и «сборочным цехом» экономики, стимулирующим развитие смежных отраслей. При этом фактическая ситуация в судостроительной отрасли в первом десятилетии XXI в. весьма напоминает ту, которая сложилась в России сто лет назад.

Достаточно вспомнить серию публикаций начала XX в., подготовленных выдающимся инженером К. А. Теннисоном:

— «Проект мер поощрения русского торгового мореходства в связи с развитием отечественного судостроения и металлургической промышленности», 1902 год [3];

— статья «Война и русское судоходство» в журнале «Русское судоходство», 1916 г. и др. [4, с. 4–13]

и, наконец, принятые законы Российской империи:

— Закон о выдаче правительственных ссуд и на приобретение вновь построенных в России из русских материалов деревянных и металлических морских торговых судов от 24 мая 1904 г.;

— Закон о мерах к поощрению отечественного судостроения от 21 мая 1912 г. [2].

Законодательная поддержка со стороны государства, ФЦП «Развитие транспортной системы России (2010–2015 годы)», активизация государственных лизинговых компаний позволили уже в 2010 г. начать работу по восстановлению речного флота в зоне ответственности государства (технический флот) и в тех коммерческих сегментах, которые ранее не были профинансированы бизнес-структурами из-за нереально больших сроков окупаемости.

Пополнение флота судами — факты и потребности. Конечно, коммерческий флот строился и до 2010 г.. Так, за 11 лет XXI в. было построено около 200 грузовых судов смешанного море–река плавания (большинство указано в табл. 1).

Таблица 1

Фактическое пополнение флота Российской Федерации в XXI в. самоходными грузовыми судами внутреннего, смешанного и ограниченных районов плавания

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Самоходные грузовые суда «Волго-Дон макс» класса		
Танкер-продуктовоз пр. 005RST01* типа «Армада Лидер» дедвейтом 6500/4700 т, пр. RST22* типа «Новая Армада» дедвейтом 7000/4600 т, пр. RST22М* дедвейтом 7100/4600 т	22	Завод «Красное Сормово», Турция
Танкер-продуктовоз пр. 19612 типа «СФАТ» дедвейтом 8000/4420 т	5	Завод «Красное Сормово»
Танкер-продуктовоз пр. 19614 типа «Нижний Новгород» дедвейтом 5600/5100 т	25	Завод «Красное Сормово»
Танкер-продуктовоз пр. 19900 дедвейтом 7100/4600 т	3	Завод «Красное Сормово»

Таблица 1
(Продолжение)

Сухогруз пр. 19610 типа «Волга» дедвейтом 6200/ 3825 т	4	Завод «Красное Сормово»
Танкер-продуктовоз пр. 0201Л типа «Лукойл» дедвейтом 6600/3640 т	10	Волгоградский СЗ
Танкер-продуктовоз пр. 17103 дедвейтом 5420/4250 т	2	Волгоградский СЗ
Сухогруз пр. 006RSD05* типа «Палмали Трейдер» дедвейтом 6970/4580 т	8	Волгоградский СЗ
Сухогруз пр. RSD19* типа «Хазар» дедвейтом 7004/ 4596 т	4	Волгоградский СЗ
Сухогруз пр. 007RSD07* типа «Танаис» дедвейтом 7215/4778 т	1	Волгоградский СЗ
Танкер-продуктовоз пр. 00216 дедвейтом 6610/5300 т	3	Окская судостроительная верфь
Сухогруз пр. RSD44* дедвейтом 5540 т	10	Окская судостроительная верфь
Сухогруз пр. 006RSD02* типа «Надежда» дедвейтом 7078/4680 т	1	Окская судостроительная верфь
Сухогруз пр. 005RSD06* с модификациями типа «Челси» дедвейтом 5827/5080 т	9	Херсонский СЗ
Сухогруз пр. RSD20* типа «Святой Николай» дедвейтом 6862/4280 т	1	Херсонский СЗ
Танкер-продуктовоз пр. HCR0805 типа «Каллиопа» дедвейтом 6024 т	6	Китай
Самоходные грузовые суда других классов		
Сухогруз пр. RSD17* типа «Евро круизер» дедвейтом 6354 т	5	Завод «Красное Сормово»
Сухогруз пр. 17310 типа «Россия» дедвейтом 3837 т	4	Завод «Красное Сормово»
Сухогруз пр. 005RSD03* типа «Карелия» дедвейтом 5500/3340 т	12	Онежский СЗ
Сухогруз пр. DCV33* дедвейтом 4570 т	6	Онежский СЗ
Сухогруз пр. DCV36* дедвейтом 5026 т	6 (+ 2 спущены)	Китай
Сухогруз пр. 003RSD04* с модификациями типа «Каспиан Экспресс» дедвейтом 3756/2584 т	12	Турция
Сухогруз пр. RSD18* типа «UCF» дедвейтом 5185/3528 т	2 (+ 2 спущены)	Китай

Таблица 1
(Окончание)

Сухогруз пр. RSD08* типа «Ом-макс» дедвейтом 3794/ 3258 т	1	Китай
Танкер пр. 19619 дедвейтом 13110 т	14	Завод «Красное Сормово»
Танкер пр. 00210, 00230 типа «Астана» дедвейтом 12360 т	6	Выборгский СЗ
Танкер пр. 00260 дедвейтом 12125 т	1	Зеленодольский СЗ
Танкер пр. 15790Т типа «Андропов» дедвейтом 4585 т	1	Судоверфь братьев Нобель (Рыбинск)
Сухогруз пр. 00101 типа «Русич» дедвейтом 5190/3855 т	11	Окская судоверфь, Завод «Красное Сормово», Зеленодольский СЗ
Сухогруз пр. 01010 типа «Валдай» дедвейтом 5010/3800 т	4	Северная верфь
Сухогруз пр. 17605 типа «Соликамский» дедвейтом 6820 т	1 (+ 1 на достройке)	Верхнекамский судостроительный комплекс
Сухогруз пр. RSD12* типа «Azov XL» дедвейтом 8048 т	4	Турция

Примечание. * Проект Морского инженерного бюро.

Наиболее востребованными были и остаются суда «Волго-Дон макс» класса — суда, отвечающие габаритам Волго-Донского судоходного канала и предназначенные для замены известных советских серий «Волгонефть» и «Волго-Дон».

Всего их было построено 112 единиц, или 56 % от общего количества новых грузовых судов. Причем российские верфи обеспечили поставку 81 сухогруза и танкера этого класса (72 %), турецкие — 15, украинские — 10 и китайские — 6.

По остальным сегментам грузового флота воднотранспортной отрасли в России было построено 53 судна, в Турции — 16 и в Китае — 8.

В большинстве своем речь шла о судах нового поколения, так как они строились по разработанным после 2000 г. проектам Морского инженерного бюро — 118 судов, или 58 %, Волго-Каспийского бюро (КБ завода «Красное Сормово») — 40 судов и ЦКБ «Вымпел» — 24 судна.

В настоящее время благодаря мерам, принятым государством, происходит переход к строительству грузовых судов, обладающих более развитой речной функцией:

— речных сухогрузных судов «устьевого» типа «Волго-Дон макс» класса проекта RSD44 с пониженным надводным габаритом, позволяющим проходить под мостами на Неве и под ростовским железнодорожным мостом без их разводки;

— танкеров смешанного река–море плавания «Волго-Дон макс» класса с увеличенной речной грузоподъемностью проектов RST27 и RST25;

— баржебуксирных составов.

Помимо строительства крупнотажного¹ самоходного грузового флота, после 2000 г. в России осуществлялись поставки других речных судов (см. табл. 2), и за 11 лет было построено 9 буксиров и толкачей, более 40 несамоходных барж, 1 малое круизное речное пассажирское судно и около 50 небольших прогулочных судов для Санкт-Петербурга и Москвы.

¹ Для речной отрасли суда, перечисленные в табл. 1, считаются крупнотажными.

Таким образом, вспомогательный и технический флот практически не строился, так как, как правило, обеспечение путевых условий является ответственностью государства и соответственно без бюджетного финансирования такой новый флот не появится. ФЦП «Развитие транспортной системы России (2010–2015 годы)» предполагает строительство около 400 вспомогательных судов для реки, причем конкурсы на строительство части этих судов (обстановочные суда) прошли в конце 2011 г.

Таблица 2

Фактическое пополнение речного флота Российской Федерации в XXI в. буксирами, баржами и пассажирскими судами

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Несамостоятельные грузовые суда «Волго-Дон макс» класса		
Нефтеналивные баржи пр. 004РОВ05* дедвейтом 4324/3897 т	7	Волгоградский СЗ
Нефтеналивные баржи пр. 2731 с модификациями дедвейтом 4500/3700 т	9	Костромской СЗ
Сухогрузные баржи пр. 03020, 03040 дедвейтом 5000/4130 т	7	Окская судостроительная верфь
Несамостоятельные грузовые суда других классов		
Сухогрузные баржи пр. 82260 дедвейтом 2000 т	18	Красноярская судостроительная верфь
Буксиры и толкачи		
Буксиры пр. 07521 мощностью 1030 кВт	1	Верхнекамский судостроительный комплекс
Буксиры пр. TG04, TG04М* мощностью 442 кВт	1 (+ 3 в постройке)	Завод Нижегородский теплоход
Буксиры-толкачи пр. 90608 типа «Дионисий» мощностью 1496 кВт	2 ¹	Завод «Пелла»
Буксиры-толкачи пр. 37 типа «Гектор» мощностью 1840 кВт	2	Костромской СЗ ²
Буксиры-толкачи пр. ST 376T мощностью 109 кВт	1	Сосновский СЗ
Буксиры пр. 81173НМ, 81173НМ.2 мощностью 600 (1632) кВт типа «Поморье»	2	Лимендский ССРЗ
Пассажирские суда		
Круизное пассажирское судно класса «Р» пр. ПКС-40 типа «Сура» на 40 пассажиров	1 (проходит испытания)	Фирма «Гамма»
Пассажирское судно класса «О» пр. 105 типа «Фарман Салманов» на 80 пассажиров	1	Самусьский ССРЗ
Скоростное пассажирское судно пр. А-45, А-45-1 типа «Лена» на 50–150 пассажиров	5	Зеленодольский СЗ
Пассажирское прогулочное судно класса «М-ПР» пр. PV01* типа «Империя» на 250 пассажиров	1	Херсонский СЗ
Пассажирское прогулочное судно класса «Р» пр. 23020 типа «Столичный» на 120 пассажиров	1	Московский ССЗ
Пассажирское прогулочное судно класса «Р» пр. RC-TV2008-1 типа «Фердинанд» на 200 пассажиров	5	Турция
Пассажирское прогулочное судно класса «Р» пр. 82500, 82520, 82544 типа «Мойка» на 70 пассажиров	36	Санкт-Петербург

Примечание. * Проект Морского инженерного бюро

¹ Завод «Пелла» является лидером российского судостроения в сегменте портовых и морских буксиров (по-строил 26 буксиров проекта 90600 и 19 буксиров проекта 16609)

² Костромской СЗ – единственный российский завод, который осуществляет постройку ББС «Волго-Дон макс» класса с «морскими» сцепами. Толкачи пр. 37 являются «самоходной» секцией таких ББС.

Сегодняшние минимальные потребности речной отрасли страны до 2020 г. могут быть оценены в 350 транспортных и более 400 вспомогательных судов [1, с. 20–26].

Помимо этого, остается открытым вопрос о замене сильно постаревшего речного пассажирского флота, так как создание современного круизного судна для эксплуатации на реках России (сезон с мая по октябрь) без помощи государства практически невозможно (сроки окупаемости достигают 30 лет и более). По оценкам экспертов, рано или поздно такая поддержка государства будет обеспечена, соответственно заводы получают заказы на строительство новых пассажирских судов.

Речные судостроительные заводы: факты. Основными российскими заводами, которые обеспечивали поставки флота судов смешанного море–река плавания (просто речных судов до 2010 г. практически не строили), были нижегородский завод «Красное Сормово» — 71 судно, навашинская «Окская судовой верфь» — 19 судов, петрозаводский «Онежский завод» — 18 судов и Волгоградский судостроительный завод — 34 судна, а также Херсонский судостроительный завод — 10 судов и николаевский завод «Океан» — 9 судов.

Судя по табл. 3, в настоящее время наибольшим реальным потенциалом обладают завод «Красное Сормово» и «Окская судовой верфь», а также Онежский завод (при условии наличия заказов).

Таблица 3

Суда, построенные на ведущих заводах (с разбивкой по годам)

Заводы	Годы											
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
«Красное Сормово»*	4	2	4	6	6	5	6	7	7	6	7	9
Окская судовой верфь						3	2	1	1	1	3	8
Волгоградский	2	1	3	4	5	4	3	6	3	1	1	0
Онежский						3	3	2	3	3	4	0
Херсонский						1	1	2	2	2	1	1
Океан						1	4	4				

Примечание. * — по данным управляющей компании «МНП».

На сегодняшний день заказаны и строятся суда «Волго-Дон макс» класса:

1. На заводе «Красное Сормово» — 10 танкеров смешанного плавания проекта RST27, головной был спущен 17 февраля 2012 г., всего на плаву уже три судна. По плану предполагается сдача 5 судов в 2012 г. и 5 в 2013 г. Однако существуют предпосылки того, что завод обеспечит перевыполнение плана и сдаст уже в этом году все 10 танкеров проекта RST27. Соответственно можно ожидать получения новых заказов по этому же проекту. Для сведения: минимальная потребность в новых танкерах проектов RST22, RST25 и RST27 оценивается в 70 единиц.

2. «Окская судовой верфь» сдает 2 речных сухогрузных судна проекта RSD44 (8 были сданы в 2011 г.). Заказаны и строятся 15 танкеров проекта RST27, спуск головного состоялся 27 апреля 2012 г. По плану предполагается сдача 4 судов в 2012 г., 5 — в 2013 г., остальные — в 2014 г. Однако существуют предпосылки того, что верфь обеспечит перевыполнение плана и сдаст уже в этом году 5 танкеров проекта RST27. Ожидается, что в среднесрочной перспективе верфь продолжит модифицированную серию сухогрузных судов проекта RSD44. По оценкам, минимальная потребность в сухогрузных судах взамен «Волго-Донов» составляет около 50–60 единиц.

3. Невский судостроительно-судоремонтный завод. Заказано и строится 10 сухогрузных судов смешанного море–река плавания проекта RSD49 (модификация проекта RSD19, ранее стро-

ившегося на Волгоградском судостроительном заводе). Кроме того, строятся три аварийно-спасательных судна проекта MPSV07 мощностью 4 МВт с повышенным ледовым классом. Головной сухогруз проекта RSD49 спущен и передан на достройку на Онежский судостроительный завод. Ожидается сдача трех судов этого проекта в 2012 г.

4. Судоверфь братьев Нобель (Рыбинск). Заказано и строится 3 танкера смешанного река-море плавания проекта RST25 со сроком сдачи в 2012 г. Головной спущен 15 ноября 2011 г. Завод приступил к постройке серии нефтеналивных барж проекта ROB07 для ОАО «Ленское речное пароходство». Ранее верфь сдала 6 катеров-бонопостановщиков для ФБУ «Госморспасслужба».

5. Судостроительный завод «Лотос». Заказано и строится со сроком сдачи 2012 г. 2 сухогрузных судна проекта RSD49 и 2 танкера проекта RST25. «Лотос» приступил к постройке 2 сухогрузных барж для компании «АПК шиппинг».

6. Зеленодольский судостроительный завод. Заказано и строится 2 танкера проекта RST25.

7. Херсонский судостроительный завод. Заказано и строится 3 танкера проекта RST27 и 2 танкера проекта RST26.

9. Верфь «Дон-Кассенс» (Аксай, Ростовская область). Заказано и строится 2 танкера проекта RST05.

Сдвинулось с мертвой точки создание новых вспомогательных речных судов. Строительство технического флота для реки осуществляется:

1) на заводе «Алмаз» — построен буксир ледокольного класса для аварийно-диспетчерской службы судоходных акваторий Санкт-Петербурга проекта 2805;

2) на заводе «Нижегородский теплоход» в постройке находятся 3 ледокольных буксира проекта TG04M и 2 многофункциональных обстановочных судна проекта BLV02, а также 3 рейдовых водолазных катера (ранее были сданы 7);

3) на Ярославском судостроительном заводе — 6 обстановочных судов класса «О», также достраивается четвертое в серии морское водолазное судно проекта SDS08;

4) на Московском судостроительно-судоремонтном заводе — обстановочные суда класса «Р»¹ (27 судов проекта 3050 и 12 судов проекта 3050.1), а также лоцманские катера для «Росморпорта»;

Кроме того, Сосновский судостроительный завод строит два судна снабжения для Камчатки проекта DCV47 (2 были сданы в 2011 г.), Онежский — 2 лоцмейстерских катера для «Росморпорта».

Судостроительный завод «Океан» построил в 2009–2010 гг. 24 баржи и в 2011 г. 3 буксиратолкача для компании «Нибулон», а также 4 самоходных землесоса, 2 мотозавозни и 2 самоходных понтона на закольных сваях для российской компании «Техногарант».

Взаимодействие с металлургической промышленностью. По данным РЖД, в 2011 г., все российское судостроение заказало 158 тыс. т стального проката, труб и полуфабрикатов и чугуна, что на 10 % выше данных за 2010 г. и ниже на 9 % средних показателей 2006–2008 гг. При этом «Окская судоверфь» заказала 30 тыс. т (19 % от общего заказа по стране), завод «Красное Сормово» — 19 тыс. т (12 % от общего заказа). В январе 2012 г. предприятия судостроительной отрасли Астраханской области заказали почти 6 тыс. т металла.

В табл. 4 приведены массы листового металла и основного проката, необходимые для постройки корпуса судна «Волго-Дон макс» класса с разбивкой по категориям стали и толщинам (номерами полосульбов).

Таким образом, только для предполагаемого строительства 180–190 судов «Волго-Дон макс» класса (и близких к ним по металлоемкости другим судам смешанного и ограниченного морского плавания) требуется около 440 тыс. т стального проката, в основном из стали категории РСД32.

¹ Часть судов строится по субподряду на Самусьском судостроительно-судоремонтном заводе

Таблица 4

Стальной прокат, необходимый для постройки судна «Волго-Дон макс» класса

Категория стали	Толщина листов, мм Полособульб №	Теоретический вес, т	Заказ на 10 судов, т
РСА	Пруток 30	1,2	15,0
	№ 10	15,4	192,5
	№ 12	15,3	191,3
	4,0*	16,2	202,5
	5,0	2,5	31,3
	6,0	79,2	990,0
РСА Итого		129,8	1622,5
РСА32	7,0	63,0	787,5
	Пруток 100	0,6	7,5
РСА32 Итого		106,0	1325,0
РСД32	№ 14а	96,4	1205,0
	№ 14б	68,9	861,3
	№ 16б	1,8	22,5
	8,0	311,4	3892,5
	9,0	213,6	2670,0
	10,0	408,4	5105,0
	11,0	7,6	95,0
	12,0	280,3	3503,8
	13,0	14,2	177,5
	14,0	3,9	48,8
	16,0	29,3	366,3
	17,0	7,2	90,0
	18,0	6,8	85,0
	20,0	5,7	71,3
35,0	1,9	23,8	
РСД32 Итого		1457,4	18217,5
РСД40	12,0	16,6	207,5
	16,0	5,3	66,3
	18,0	20,8	260,0
	24,0	89,0	1112,5
	32,0	75,9	948,8
РСД40 Итого		207,6	2595,0
Общий итог		1858,4	23230,0

Для некоей среднегодовой оценки потребности в стальном прокате в кратко- и среднесрочной перспективе можно использовать данные табл. 5, где представлены экспертные оценки количества судов «Волго-Дон макс» класса, которые могут быть построены на том или ином заводе за год.

Таблица 5

**Расчетная годовая производительность и оценка потребностей ведущих речных заводов
в стальном прокате (на год)**

Завод	Максимальное количество судов «Волго-Дон макс» класса, ед. в год	Среднегодовая потребность в прокате, тыс. т
«Красное Сормово»	10	25
Окская судостроительная	8	20
«Лотос»	6	15
Онежский	4	10
Судостроительная братьев Нобель	4	10
Зеленодольский	4	10
Невский	4	10

Взаимодействие с машиностроением. Используя экспертные оценки по необходимому количеству судов [1], а также принятые в 2010–2011 гг. меры по организации по лицензии ведущих мировых фирм производства в России современных среднеоборотных дизелей и полноповоротных винторулевых колонок (ВРК), можно оценить совокупную потребность воднотранспортной отрасли в таких машинах:

В табл. 6 приведены предполагаемые массовые серии грузовых судов с указанием количества и мощности главных двигателей и ВРК. В табл. 7 дана оценка необходимого количества среднеоборотных дизелей и ВРК для массовых серий судов.

Всего можно прогнозировать до 2020 г. потребность в следующей машиностроительной продукции для речной отрасли:

1. Среднеоборотные дизели мощностью от 800 до 1200 кВт — около 425 машин.
2. Среднеоборотные дизели мощностью от 1600 до 2500 кВт — около 20 машин.
3. Дизели мощностью от 600 до 800 кВт — около 35 машин.
4. Дизели мощностью от 300 до 400 кВт — около 50 машин.
5. ВРК мощностью от 800 до 1200 кВт с ледовой категорией ЛУ1-ЛУ2 — около 425 машин.
6. ВРК мощностью 1600 кВт с ледовой категорией ЛУ4-ЛУ5 — около 10 машин.
7. ВРК мощностью от 600 до 800 кВт — около 35 машин.
8. ВРК мощностью от 300 до 400 кВт — около 50 машин.

Таблица 6

**Предполагаемые массовые серии грузовых судов с указанием количества и мощности
главных двигателей и ВРК**

Тип судна	Количество судов	Главные двигатели (на одном судне)	ВРК (на одном судне)
Сухогрузные суда смешанного плавания дедвейтом около 5,0–7,0 тыс. т	30	2 по 900–1200 кВт	2 по 900–1200 кВт
Сухогрузные суда смешанного плавания дедвейтом около 5,0–7,0 тыс. т		1 по 1800–2500 кВт	Нет
Танкеры смешанного плавания дедвейтом около 7,0 тыс. т «Волго-Дон макс» класса	70	2 по 1000–1200 кВт	2 по 1000–1200 кВт
Сухогрузные суда «О-ПР» дедвейтом около 5,4 тыс. т «Волгомакс» класса	50	2 по 1000–1200 кВт	2 по 1000–1200 кВт

Таблица 6
(Окончание)

Танкеры дедвейтом «О–ПР» около 5,4 тыс. т «Волгомакс» класса	40	2 по 1000–1200 кВт	2 по 1000–1200 кВт
Танкеры дедвейтом «М–СП» около 3,4 тыс. т «Лена» класса	10	2 по 800–1000 кВт	2 по 800–1000 кВт
Сухогрузы дедвейтом «М–СП» около 3,4 тыс. т «Лена» класса	5	2 по 800–1000 кВт	2 по 800–1000 кВт
Речные толкачи и буксиры	30	2 по 800–1200 кВт	2 по 800–1200 кВт
Бункеровщики топливом дедвейтом около 6 тыс. т	5	2 по 1600 кВт	2 по 1600 кВт
Бункеровщики топливом и маслом дедвейтом около 3 тыс. т	35	800–1000 кВт	800–1000 кВт
Бункеровщики топливом и маслом дедвейтом около 2 тыс. т	35	600–800 кВт	600–800 кВт
Бункеровщики топливом и маслом дедвейтом около 800 т	25	2 по 300–400 кВт	2 по 300–400 кВт

Таблица 7

Оценка необходимого количества главных двигателей и ВРК для массовых серий судов

Тип судна	Количество судов	Главные двигатели	ВРК
Сухогрузные суда смешанного плавания дедвейтом около 5,0–7,0 тыс. т	30	40 по 900–1200 кВт	40 по 900–1200 кВт
Сухогрузные суда смешанного плавания дедвейтом около 5,0–7,0 тыс. т		10 по 1800–2500 кВт	Нет
Танкеры смешанного плавания дедвейтом около 7,0 тыс. т «Волго–Дон макс» класса	70	140 по 1000–1200 кВт	140 по 1000–1200 кВт
Сухогрузные суда «О–ПР» дедвейтом около 5,4 тыс. т «Волгомакс» класса	50	100 по 1000–1200 кВт	100 по 1000–1200 кВт
Танкеры дедвейтом «О–ПР» около 5,4 тыс. т «Волгомакс» класса	40	80 по 1000–1200 кВт	80 по 1000–1200 кВт
Танкеры дедвейтом «М–СП» около 3,4 тыс. т «Лена» класса	10	20 по 800–1000 кВт	20 по 800–1000 кВт
Сухогрузы дедвейтом «М–СП» около 3,4 тыс. т «Лена» класса	5	10 по 800–1000 кВт	10 по 800–1000 кВт
Речные толкачи и буксиры	30	60 по 800–1200 кВт	60 по 800–1200 кВт
Бункеровщики топливом дедвейтом около 6 тыс. т	5	10 по 1600 кВт	10 по 1600 кВт
Бункеровщики топливом и маслом дедвейтом около 3 тыс. т	35	35 по 800–1000 кВт	35 по 800–1000 кВт
Бункеровщики топливом и маслом дедвейтом около 2 тыс. т	35	35 по 600–800 кВт	35 по 600–800 кВт
Бункеровщики топливом и маслом дедвейтом около 800 т	25	50 по 300–400 кВт	50 по 300–400 кВт

Заключение

1. С 2010 г. наблюдается увеличение заказов на грузовые суда смешанного и внутреннего плавания.

2. Наиболее востребованными были и остаются суда «Волго-Дон макс» класса — суда, отвечающие габаритам Волго-Донского судоходного канала и предназначенные для замены известных советских серий «Волгонефть» и «Волго-Дон». Только для строительства корпусов 180–190 перспективных судов «Волго-Дон макс» класса (и близких к ним по металлоемкости другим судам смешанного и ограниченного морского плавания) требуется около 440 тыс. т стального проката, в основном из стали категории РСД32.

3. В настоящее время наибольшим реальным потенциалом в отношении строительства судов «Волго-Дон макс» класса обладают завод «Красное Сормово» и «Окская судостроительная».

4. «Сдвинулось с мертвой точки» создание новых вспомогательных речных судов. ФЦП «Развитие транспортной системы России (2010–2015 годы)» предполагает строительство около 400 вспомогательных судов для реки, причем конкурсы на строительство части этих судов (обстановочные суда) прошли в конце 2011 г. Суда уже строятся на заводах «Нижегородский теплоход», Ярославском и Московском.

5. Остается открытым вопрос о замене сильно постаревшего речного пассажирского флота. По оценкам экспертов, рано или поздно, поддержка государства в этом вопросе будет обеспечена, соответственно заводы получают заказы на строительство новых пассажирских судов.

6. Для речной отрасли прогнозируется потребность в следующей машиностроительной продукции:

- среднеоборотные дизели мощностью от 800 до 1200 кВт — около 425 машин;
- среднеоборотные дизели мощностью от 1600 до 2500 кВт — около 20 машин;
- дизели мощностью от 600 до 800 кВт — около 35 машин;
- дизели мощностью от 300 до 400 кВт — около 50 машин;
- ВРК мощностью от 800 до 1200 кВт с ледовой категорией ЛУ1-ЛУ2 — около 425 машин;
- ВРК мощностью 1600 кВт с ледовой категорией ЛУ4-ЛУ5 — около 10 машин;
- ВРК мощностью от 600 до 800 кВт — около 35 машин;
- ВРК мощностью от 300 до 400 кВт — около 50 машин.

Список литературы

1. Егоров Г. В. Перевозки отечественным водным транспортом, состояние речного флота и перспективы нового судостроения / Г. В. Егоров // Морская биржа. — 2010. — № 4 (34). — С. 20–26.

2. Закон о мерах к поощрению отечественного судостроения, Высочайше утвержденный 21 мая 1912 года и одобренный Государственным Советом и Государственной думой. — СПб., 1912. — 8 с.

3. Теннисон К. А. Проект мер поощрения русского торгового мореходства в связи с развитием отечественного судостроения и металлургической промышленности / К. А. Теннисон // Тр. Императорского о-ва судоходства. — СПб., 1902. — 25 с.

4. Теннисон К. А. Война и русское судоходство / К. А. Теннисон // Русское судоходство. — 1916. — № 1.

5. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с реализацией мер государственной поддержки судостроения и судоходства: федер. закон № 305-ФЗ от 7 ноября 2011 г., принят Государственной Думой 21 октября 2011 г. и одобрен Советом Федерации 26 октября 2011 г.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 681.322

В. Д. Чертовской,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК

СИСТЕМНОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ

SYSTEM DESCRIPTION OF PROCESSES OF ADAPTIVE AUTOMATIZED CONTROL

Рассмотрена необходимость применения адаптивного автоматизированного управления. Сформулированы цель (назначение) адаптивных автоматизированных систем управления производством, их структура, приведено функциональное описание целенаправленных структурных элементов системы.

Necessity of applying of adaptive automatized control is considered. Aim (purpose), structure of adaptive automatized manufacturing control are enumerated. Function description of aim-oriented structure elements of system is presented.

Ключевые слова: адаптация, автоматизированное управление, процессы, описание, задачи взаимодействия.

Key words: Adaptation, automatized control, processes, description, interaction tasks.

В

ВЕДЕНИЕ. Настоящая работа является продолжением и развитием публикации [1]. Следует отметить, что первые отечественные автоматизированные системы управления предприятиями (производствами) были построены в 1960-е гг. [2; 3].

В них использовался информационно-поисковый режим, в котором на компьютере реализовались этапы учета, планирования и контроля цикла управления. Остальные этапы выполнял человек-руководитель.

Такой подход был оправдан при стабильной плановой экономике, когда процессы были близки к статическим: возмущения были редкими, и компенсировать их человек успевал. Компьютеры решали преимущественно задачи «прямого счета», алгоритмы которых не выходили за четыре действия арифметики.

Было подмечено, что автоматизированные системы имеют иерархическую структуру, однако теоретико-множественные основы теории таких систем были сформулированы лишь в 1970-х гг. [4].

В 1970-х гг. выяснилось [5], что не учитывать динамику процессов, особенно в подсистеме оперативного управления основным производством, уже нельзя.

Учитывать динамику отдельных звеньев многоуровневой системы попытались с помощью статистического описания процессов [5; 6], однако не очень успешно. Еще одной не очень удачной попыткой учета динамики процессов производства был переход к процедурному управлению [7].

Более впечатляющими были успехи по имитационному моделированию [8; 9], однако они не обладали должной наглядностью и необходимой общностью описания.

В 1980-е гг. впервые был поставлен вопрос об адаптивном управлении [10]. Более того, речь пошла о создании гибких автоматизированных заводов [7]. Это было вызвано тем, что все чаще спрос имел свойство быстро и существенно изменяться.

В 1990-х гг. были сформулированы [7] концепции гибких автоматизированных заводов (ICAM, ESPRIT, ГАЗ).

Под гибким автоматизированным заводом понимают автоматизированную систему, обеспечивающую выпуск продукции при оперативно изменяющемся рыночном спросе и работаю-

щую — в силу высокой степени автоматизации процессов производства и управления — при ограниченном количестве обслуживающего персонала.

К сожалению, рассмотрение таких систем ограничилось концептуальным уровнем.

После перехода России к рыночным отношениям резко выросла динамика параметров (спрос, ресурсное обеспечение, цена) среды, в которой работает производство. Возникла потребность в создании адаптивных автоматизированных систем управления производством [11], работающих в информационно-советующем режиме. Для успешной их работы стало необходимо формирование математической теории таких систем.

Постановка задачи. Характер математического описания автоматизированного управления определяется изменениями параметров внешней среды.

Это прежде всего спрос на выпускаемую продукцию:

$$R_3(t) = R_{3c} + \Delta R_3 1(t - \theta), \quad (1)$$

где R_{3c} — прежний спрос; ΔR_3 — количественное изменение спроса; θ — момент изменения спроса; t — время; $1(t)$ — единичная функция. Такие изменения компенсируются работой традиционных систем управления.

Современные производства работают при изменяющихся цене C и ресурсном обеспечении b с законами изменения вида (1). Такие изменения требуют применения самонастраивающихся систем, являющихся одним их классов адаптивных систем.

Новым видом изменений является изменение цели функционирования систем управления, определяемое появлением и оперативным переходом на выпуск новой продукции, спрос на которую характеризуется выражением

$$R_4(t) = \Delta R_4 1(t - \theta). \quad (2)$$

Компенсация таких изменений может быть осуществлена новым классом адаптивных систем — интеллектными системами.

Самонастраивающиеся системы можно рассматривать как частный случай интеллектных систем. В связи с этим целью настоящей работы является формирование математического описания именно интеллектных систем.

Решение задачи. В процедуре формирования возможно выделить построение структуры системы и функциональное наполнение структурных элементов системы.

Самыми динамичными подсистемами автоматизированных систем [1; 7], представляющими наибольший интерес, являются подсистемы технико-экономического планирования (ТЭП) и оперативного управления основным производством (ОУОП) (рис. 1). Они и определяют понятие

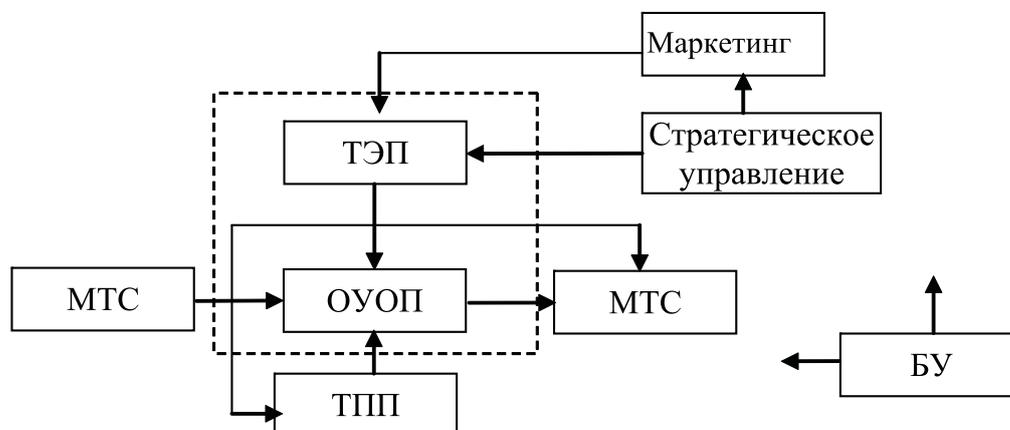


Рис. 1. Схема связей функциональных подсистем при рыночных отношениях:

ТЭП — технико-экономическое планирование; ОУОП — оперативное управление основным производством; МТС — материально-техническое снабжение и сбыт; ТПП — техническая подготовка производства; БУ — бухгалтерский учет

«производство». При процедурном представлении производство определяется одноименным бизнес-процессом.

В обоих случаях имеется трехуровневая структура (рис. 2), являющаяся базовой, универсальной, «скользящей» для описания систем с числом уровней более трех. Дело в том, что в трехуровневой структуре учитываются все возможные виды изменений масштабов по времени и координатам. На уровнях $h = 1$ и $h = 2$ масштаб по времени одинаков, однако верхний уровень имеет более высокую размерность по координатам.

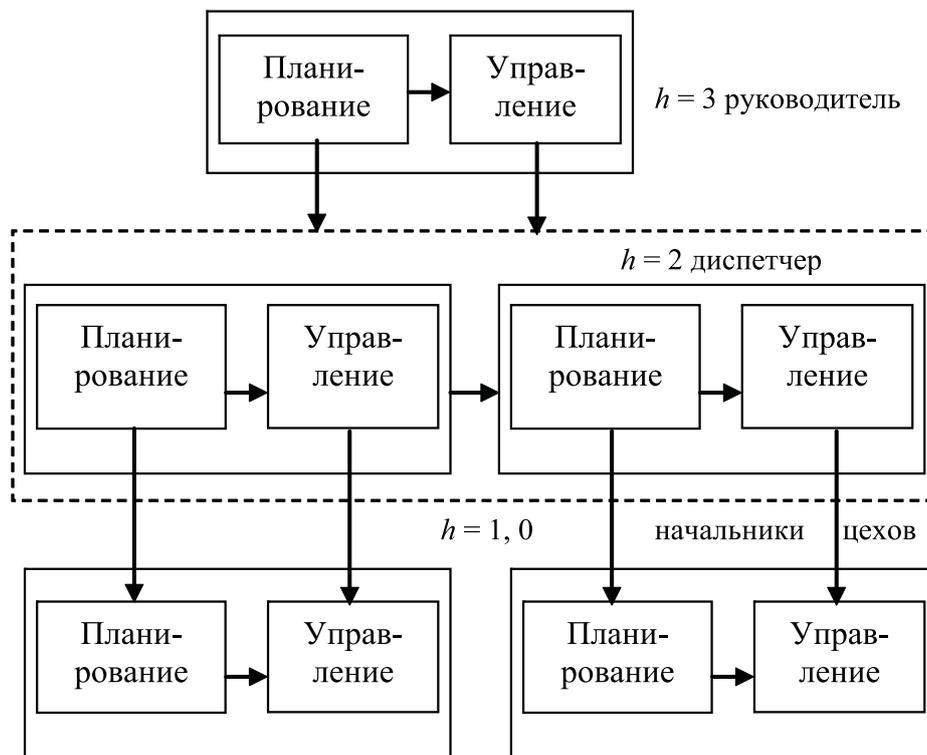


Рис. 2. Трехуровневая структура системы

На уровне $h = 3$ осуществляется (по сравнению с уровнем $h = 2$) агрегация по времени и координатам.

В этом плане дополнительное использование уровня «сверху» или «снизу» от трехуровневой структуры потребует агрегации или детализации по времени, учет которых связан с серьезными затруднениями. В силу сказанного далее рассмотрим структуру, показанную на рис. 2.

Для каждого структурного элемента рис. 2 характерен [12] цикл управления, показанный на рис. 3 и взятый за основу стандарта ИСО 9000. Показано, что процесс планирования является относительно самостоятельным в управлении. В связи с этим далее будем рассматривать два связанных процесса: планирования и управления.

Теоретико-множественная модель описания системы с такой структурой приведена в работе [1]. Она носит абстрактный характер и требует перехода к конструктивным методам.

В соответствии со спецификой таких систем к методам описания предъявляются следующие основные требования.

1. Соответствие предлагаемой методологии исследования стандарту «Системы менеджмента качества».
2. Учет многоуровневого характера структуры систем с изменением масштабов описания по времени и координатам.
3. Системность и наглядность глобального метода математического описания и простота алгоритма приложения.

4. Интеграция процессов функционирования и адаптации с элементами интеллекта.
5. Поддержание оптимальных режимов работы с помощью компьютерной техники.
6. Системный метод описания процессов оптимального планирования и управления.
7. Однородность (однотипность) составляющих системного описания процессов оптимального планирования и оптимального управления.
8. Учет динамики процесса планирования и нелинейности описания процесса управления.
9. Возможность согласования (векторных) экономических интересов и координации темпов работы целенаправленных элементов.
10. Совместная оценка экономических свойств (через экономический интерес) и управленческих свойств.
11. Возможность для целенаправленных структурных элементов согласования экономических интересов, выражающихся в целевых функциях, для процессов планирования и управления.
12. Координация динамических свойств элементов.
13. Учет неопределенности в получении данных при идентификации управляющей части системы.

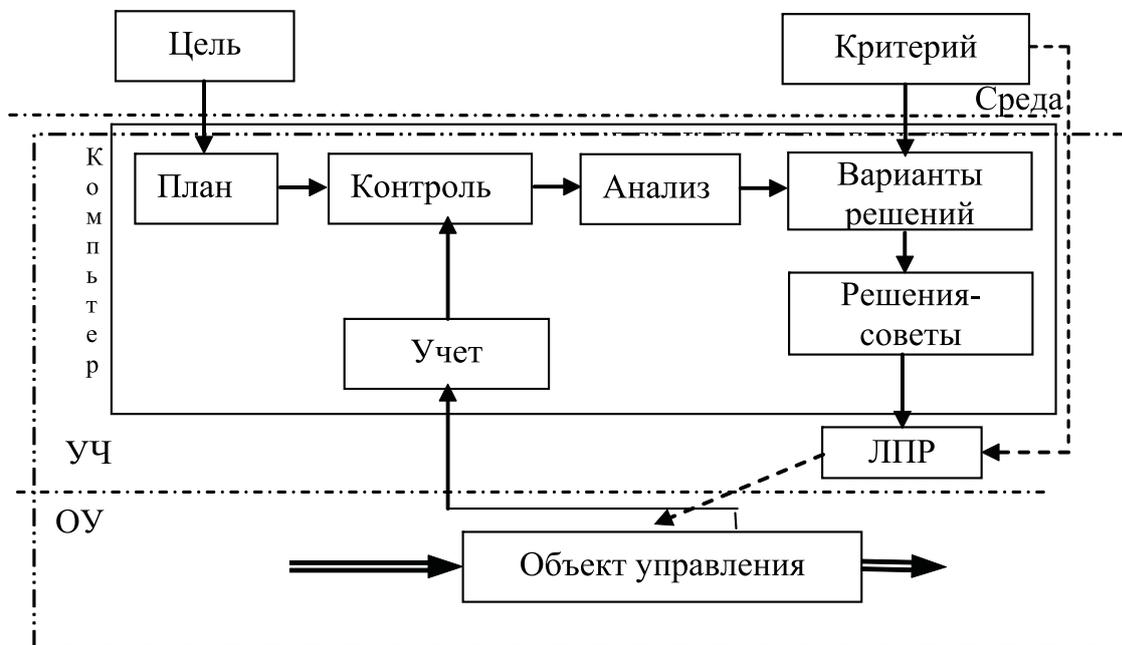


Рис. 3. Информационно-советующий режим:

ОУ — объект управления; УЧ — управляющая часть; ЛПР — лицо, принимающее решения

Анализ локальных методов описания, выполненный на основе указанных требований, позволил заключить, что для процесса планирования подходят методы статического (СЛП) и динамического (ДЛП) линейного программирования, а для процесса управления — методы динамического линейного программирования и линейно-квадратичной оптимизации (ЛКО).

Тогда возможны два варианта глобальных методов описания:

— планирование и управление описываются разными локальными методами (СЛП–ЛКО) — системный глобальный метод;

— оба процесса описываются однотипно с помощью ДЛП — однородный глобальный метод.

Целесообразно сравнить возможности и сферы применения глобальных методов.

Рассмотрим возможности системного метода на примере отдельного структурного элемента.

Процесс планирования

$$\mathbf{P}(T) \geq \mathbf{R}(T), \quad (3)$$

$$\mathbf{P}(t_i) = \mathbf{P}(t_{i-1}) - \mathbf{p}(t_i), \quad (4)$$

$$i = 1, N; t_i = iv; t_0 = 0, T = Nv,$$

$$\mathbf{Dp}(t_i) \leq \mathbf{b}(t_{i-1}), \quad (5)$$

$$G = -\mathbf{FP}(T) \rightarrow \min, \quad (6)$$

где \mathbf{p} , \mathbf{P} — планы текущий и с накоплением; \mathbf{R} — спрос; \mathbf{D} — матрица норм расходов; \mathbf{b} — наличное количество ресурсов; \mathbf{F} — прибыль от выпуска единицы продукции; $T = Nv$.

Особенностью процесса управления в организационных системах является информационная неопределенность, связанная с тем, что решения фиксируются документально далеко не полностью.

В связи с этим процесс управления описывается в два приема.

1. Формируется имитационная модель

$$\mathbf{z}(t_i) = \mathbf{A}\mathbf{z}(t_{i-1}) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t_{i-1}),$$

$$\mathbf{y}(t_i) = \mathbf{C}\mathbf{z}(t_i), \quad (7)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}(t) = \mathbf{p}(t) - \mathbf{y}(t),$$

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{u}(\boldsymbol{\varepsilon}(t), \mathbf{f}(\mathbf{w}_r(t))), r = 1, R,$$

где \mathbf{z} , \mathbf{u} , \mathbf{y} — векторы состояния, управления, выхода; \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} — матрицы, характеризующие динамику системы; \mathbf{p} , $\boldsymbol{\varepsilon}$ — векторы плана и отклонения; \mathbf{f} — некоторая функция; $\mathbf{w}_r(t)$ — векторы промежуточных переменных. Определяется ее адекватность системе.

2. Осуществляется переход от имитационной модели к оптимизационному описанию и управление определяется из критерия

$$J = J(\boldsymbol{\varepsilon}(t), \mathbf{u}(t)) \rightarrow \min,$$

где J — целевая функция.

В предположении, что названные приемы выполнены, процесс управления системы может быть представлен с помощью ЛКО.

Объект управления

$$\mathbf{z}(t_i) = \mathbf{A}\mathbf{z}(t_{i-1}) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t_{i-1}), \quad (8)$$

$$\mathbf{y}(t_i) = \mathbf{C}\mathbf{z}(t_i), \quad (9)$$

$$\mathbf{D}\mathbf{u}(t_i) \leq \mathbf{b}(t_{i-1}), \quad (10)$$

где \mathbf{p} , \mathbf{z} , \mathbf{u} , \mathbf{y} , \mathbf{b} — векторы плана, состояния, управления размерности ресурсов, выхода, наличных ресурсов, поступления ресурсов; \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} — матрицы, характеризующие динамику; \mathbf{D} — матрица норм расхода ресурсов.

Управляющая часть

$$\boldsymbol{\varepsilon}(t_i) = \mathbf{p}(t_i) - \mathbf{y}(t_i), \quad (11)$$

$$J = \sum_{i=0}^N \{\boldsymbol{\varepsilon}(t_i)^T \mathbf{Q}_1 \boldsymbol{\varepsilon}(t_i) + \mathbf{u}(t_i)^T \mathbf{R} \mathbf{u}(t_i)\} \rightarrow \min, \quad (12)$$

где \mathbf{Q} , \mathbf{R} — матрицы соответствующей размерности; $\boldsymbol{\varepsilon}(t) = \mathbf{p}(t) - \mathbf{y}(t)$ — вектор отклонений; T , v — интервалы времени; $T = Nv$; T — признак транспонирования.

ЛКО позволяет легко решать задачу синтеза с заданным качеством управления.

Однако уже из рассмотрения отдельного элемента видны существенные недостатки системного метода.

1. Неучет динамики процесса планирования и нелинейности процесса управления.
2. Необходимость тщательного согласования разнородных локальных методов.
3. Сложность экономической трактовки квадратичного критерия процесса управления и, соответственно, согласования экономических интересов.

От этих недостатков свободен однородный метод, использующий динамическое линейное программирование.

Тогда процесс планирования отдельного структурного элемента получит такое описание.

$$\mathbf{P}(T) \geq \mathbf{R}(T), \quad (13)$$

$$\mathbf{P}(t_i) = \mathbf{P}(t_{i-1}) - \mathbf{p}(t_i), \quad (14)$$

$$\mathbf{z}(t_i) = \mathbf{A}\mathbf{z}(t_{i-1}) + \mathbf{B}\mathbf{p}_1(t_{i-1}), \mathbf{z}(0) = \mathbf{z}_0,$$

$$i = 1, N, t_i = iv, t_0 = 0, T = Nv, \quad (15)$$

$$\mathbf{p}(t_i) = \mathbf{C}\mathbf{z}(t_i), \quad (16)$$

$$\mathbf{D}\mathbf{p}_1(t_i) \leq \mathbf{b}(t_{i-1}), \quad (17)$$

$$G = -\mathbf{F}\mathbf{P}(T) \rightarrow \min, \quad (18)$$

где \mathbf{z} — незавершенное производство; \mathbf{p}_1 — запуск комплекта материалов в производство; \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} — матрицы соответствующих размерностей; T , v — интервалы времени; $T = Nv$.

Процесс управления получает такое описание.

Объект управления системы может быть представлен как

$$\mathbf{z}(t_i) = \mathbf{A}\mathbf{z}(t_{i-1}) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t_{i-1}), \quad (19)$$

$$\mathbf{y}(t_i) = \mathbf{C}\mathbf{z}(t_i), \quad (20)$$

$$\mathbf{D}\mathbf{u}(t_i) \leq \mathbf{b}(t_{i-1}). \quad (21)$$

Управляющая часть

$$\boldsymbol{\varepsilon}(t_i) = \mathbf{p}(t_i) - \mathbf{y}(t_i), \quad (22)$$

$$J = \sum_{i=0}^N \{ \mathbf{C}_1 \boldsymbol{\varepsilon}(t_i) + \mathbf{C}_2 \mathbf{u}(t_i) \} \rightarrow \min, \quad (23)$$

где \mathbf{C}_1 , \mathbf{C}_2 — вектор-строки стоимостей потерь за счет отклонения от плана и потребностей в дополнительных ресурсах для управления; $\boldsymbol{\varepsilon}(t) = \mathbf{p}(t) - \mathbf{y}(t)$ вектор отклонений; T , v — интервалы времени; $T = Nv$.

С учетом специфики уровней описание процесса планирования получает вид.

Для уровня $h = 3$ справедливо

$$\mathbf{z}(t_i) = \mathbf{z}(t_{i-1}) + [t](\mathbf{p}_1(t_{i-1}) - \mathbf{p}(t_{i-1})), \mathbf{z}(0) = \mathbf{z}_0, \quad (24)$$

$$\mathbf{p}(t_i) = \mathbf{C}\mathbf{z}(t_{i-1}), \quad (25)$$

$$\mathbf{P}(t_i) = \mathbf{P}(t_{i-1}) + \mathbf{p}(t_i), \mathbf{P}(0) = 0, \quad (26)$$

$$\mathbf{D}\mathbf{p}_1(t_i) \leq \mathbf{b}(t_{i-1}), \quad (27)$$

$$\mathbf{P}(T) \geq \mathbf{R}(T), \mathbf{R}(T) = (\mathbf{R}_3^T(T), \mathbf{R}_4^T(T))^T, \quad (28)$$

$$\mathbf{b}^{(1)}(t_i) = \mathbf{b}^{(1)}(t_{i-1}) + \Delta \mathbf{b}^{(1)}(t_i) - \mathbf{A}^{(1)} \mathbf{p}_1(t_i), \quad (29)$$

$$\mathbf{b}^{(2)}(t) = \mathbf{b}^{(2)}(t_{i-1}) + \Delta \mathbf{b}^{(2)}(t_i), \quad (30)$$

$$G = -\mathbf{F}\mathbf{P}(T) \rightarrow \min, \quad (31)$$

где \mathbf{z} , \mathbf{p} — незавершенное производство и ежедневный план; \mathbf{p}_1 — запуск комплекта материалов в производство; \mathbf{D} — матрица норм расходов, \mathbf{R} — спрос; \mathbf{b} — наличное количество ресурсов; $\Delta \mathbf{b}$ — поступление ресурсов; m , ψ — материальные и другие виды ресурсов.

Для уровня $h = 1$ процесс планирования состоит из статической

$$\begin{aligned} \mathbf{D}_k^{(2)} \mathbf{p}_{1k}(t_i) &\leq \mathbf{b}_k^{(2)}(t_{i-1}), \\ \mathbf{D}_k^{(1)} \mathbf{p}_{1k}(t_i) &\leq \mathbf{b}_k^{(1)}(t_{i-1}), \\ \sum_{i=1}^I \mathbf{D}_k^{(1)} \mathbf{p}_{1k}(t_i) &\leq \mathbf{b}^{(1)}(0), \end{aligned} \quad (32)$$

$$\sum_{i=1}^I \mathbf{p}_k(t_i) \leq \mathbf{P}(T),$$

$$G_k = \sum_{i=1}^I \mathbf{F}_k \mathbf{p}_k(t_i) \rightarrow \max$$

и динамической частей

$$\mathbf{z}_k(t_i) = \mathbf{z}_k(t_{i-1}) + [t](\mathbf{p}_{1k}[t_i] - \mathbf{p}_k[t_i]), \mathbf{z}_k(0) = \mathbf{z}_{k0}, \quad (33)$$

$$\mathbf{p}_k[t_i] = \mathbf{F}_k \mathbf{z}_k(t_{i-1}), \quad (34)$$

$$\mathbf{P}_k(t_i) = \mathbf{P}_k(t_{i-1}) + \mathbf{p}_k[t_i], \mathbf{P}_k(0) = 0, \quad (35)$$

$$\mathbf{b}_k^{(1)}(t_i) = \mathbf{b}_k^{(1)}(t_{i-1}) + \Delta \mathbf{b}_k^{(1)}[t_i] - \mathbf{D}_k^{(1)} \mathbf{p}_{1k}[t_i], \quad (36)$$

$$\mathbf{b}_k^{(2)}(t) = \mathbf{b}_k^{(2)}(t_{i-1}) + \Delta \mathbf{b}_k^{(2)}(t_{i-1}), \quad (37)$$

где $^{(1)}$ — индекс материальных ресурсов; $^{(2)}$ — индекс прочих ресурсов; $i = 1, I$ — моменты времени; $k = 1, K$ — номер подразделения.

Для уровня $h = 2$ вторая и последняя строки в выражении (32) трансформируются:

$$\sum_{i=1}^I \mathbf{D}_k^{(1)} \mathbf{p}_k(t_i) \leq \sum_{i=1}^I \mathbf{p}_{k-1}(t_{i-1}),$$

$$G = \sum_{k=1}^K G_k \rightarrow \max.$$

Для процесса управления уровня $h = 3$ справедливы такие выражения.

Объект управления системы может быть представлен как

$$\mathbf{z}(t_i) = \mathbf{A}\mathbf{z}(t_{i-1}) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t_{i-1}), \quad (38)$$

$$\mathbf{y}(t_i) = \mathbf{C}\mathbf{z}(t_i), \quad (39)$$

$$\mathbf{D}\mathbf{u}(t_i) \leq \mathbf{b}(t_{i-1}), \quad (40)$$

$$Y(t_i) = Y(t_{i-1}) + y(t_i), Y(0) = 0, \quad (41)$$

$$Y(T) \geq P(T), \quad (42)$$

$$\mathbf{b}^{(1)}(t_i) = \mathbf{b}^{(1)}(t_{i-1}) + \Delta \mathbf{b}^{(1)}(t_i) - \mathbf{A}^{(1)} \mathbf{u}(t_i), \quad (43)$$

$$\mathbf{b}^{(2)}(t_i) = \mathbf{b}^{(2)}(t_{i-1}) + \Delta \mathbf{b}^{(2)}(t_i), \quad (44)$$

где $\mathbf{p}, \mathbf{z}, \mathbf{u}, \mathbf{y}, \mathbf{b}$ — векторы плана, состояния, управления размерности ресурсов, выхода, наличных ресурсов, поступления ресурсов; $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}$ — матрицы, характеризующие динамику; \mathbf{D} — матрица норм расхода ресурсов; $^{(1)}, ^{(2)}$ — материальные и другие виды ресурсов.

Управляющая часть

$$\boldsymbol{\varepsilon}(t_i) = \mathbf{p}(t_i) - \mathbf{y}(t_i), \quad (45)$$

$$J = \sum_{i=0}^N \{C_1 \boldsymbol{\varepsilon}(t_i) + C_2 \mathbf{u}(t_i)\} \rightarrow \min, \quad (46)$$

где C_1, C_2 — вектор-строки стоимостей потерь за счет отклонения от плана и потребностей в дополнительных ресурсах для управления.

Для уровня $h = 1$ процесс управления состоит из статической

$$\mathbf{D}_k^{(2)} \mathbf{u}_k(t_i) \leq \mathbf{b}_k^{(2)}(t_{i-1}),$$

$$\mathbf{D}_k^{(1)} \mathbf{u}_k(t_i) \leq \mathbf{b}_k^{(1)}(t_{i-1}),$$

$$\sum_{i=1}^I \mathbf{D}_k^{(1)} \mathbf{u}_k(t_i) \leq \mathbf{b}^{(1)}(0), \quad (47)$$

$$\sum_{i=1}^I \mathbf{u}_k(t_i) \leq \mathbf{P}(T),$$

$$J = \sum_{i=1}^I \{C_{1k} \boldsymbol{\varepsilon}_k(t_i) + C_{2k} \mathbf{u}_k(t_i)\} \rightarrow \min$$

и динамической частей

$$\mathbf{z}_k(t_i) = \mathbf{z}_k(t_{i-1}) + [t](\mathbf{u}_k[t_i] - \mathbf{y}_k[t_i]), \mathbf{z}_k(0) = \mathbf{z}_{k0}, \quad (48)$$

$$\mathbf{y}_k[t_i] = \mathbf{F}_k \mathbf{z}_k(t_{i-1}), \quad (49)$$

$$\mathbf{Y}_k(t_i) = \mathbf{Y}_k(t_{i-1}) + \mathbf{y}_k[t_i], \mathbf{Y}_k(0) = 0, \quad (50)$$

$$\mathbf{b}_k^{(1)}(t_i) = \mathbf{b}_k^{(1)}(t_{i-1}) + \Delta \mathbf{b}_k^{(1)}[t_i] - \mathbf{D}_k^{(1)} \mathbf{u}_k[t_i], \quad (51)$$

$$\mathbf{b}_k^{(2)}(t_i) = \mathbf{b}_k^{(2)}(t_{i-1}) + \Delta \mathbf{b}_k^{(2)}(t_{i-1}), \quad (52)$$

где $^{(1)}$ — индекс материальных ресурсов; $^{(2)}$ — индекс прочих ресурсов; $i = 1, I$ — моменты времени; $k = 1, K$ — номер подразделения.

Для уровня $h = 2$ вторая и последняя строки в выражении (47) трансформируются:

$$\sum_{i=1}^I \mathbf{D}_k^{(1)} \mathbf{u}_k(t_i) \leq \sum_{i=1}^I \mathbf{y}_{k-1}^{(1)}(t_{i-1}),$$

$$J = \sum_{k=1}^K J_k \rightarrow \min.$$

Таким образом, получено полное математическое описание адаптивного управления производством.

Заключение. Представленное описание позволяет решать задачи взаимодействия целенаправленных структурных элементов: согласование экономических интересов процессов планирования и управления; координации динамических свойств элементов системы.

Список литературы

1. Чертовской В. Д. Интеллектуализация автоматизированного управления производством / В. Д. Чертовской. — СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2007. — 164 с.
2. Мамиконов А. Г. Методы разработки автоматизированных систем управления / А. Г. Мамиконов. — М.: Энергия, 1973. — 212 с.
3. Основы построения АСУ / под ред. В. И. Костюка. — М.: Сов. радио, 1977. — 304 с.
4. Месарович М. Теория иерархических систем: пер. с англ. / М. Месарович, Д. Мако, Я. Такаха. — М.: Мир, 1973. — 344 с.
5. Евдокимов В. В. Машинный синтез АСУП / В. В. Евдокимов, В. А. Рейнер. — М.: Статистика, 1980. — 222 с.
6. Заикин О. А. Основы построения АСУ / О. А. Заикин, Т. Н. Рахимов, Б. Я. Советов. — Ташкент: Укитувчи, 1984.
7. Советов Б. Я. Теоретические основы автоматизированного управления: учебник / Б. Я. Советов, В. В. Цехановский, В. Д. Чертовской. — М.: Высш. шк., 2006. — 463 с.
8. Форрестер Д. Основы кибернетики предприятия / Д. Форрестер. — М.: Прогресс, 1971. — 340 с.
9. Имитационное моделирование производственных систем / А. А. Вавилов, Д. Х. Имаев, Б. Ф. Фомин [и др.]; под общ. ред. А. А. Вавилова. — М.; Берлин: Машиностроение: Техника, 1983. — 416 с.
10. Адаптивная АСУ производством / И. М. Бобко, Г. И. Марчук, А. Г. Аганбегян; под ред. Г. И. Марчука. — М.: Статистика, 1981. — 384 с.
11. Васильев С. Н. Интеллектуальное управление динамическими системами / С. Н. Васильев. — М.: Физматлит, 2000. — 352 с.
12. Чертовской В. Д. Машинные деловые игры в процессе управления: в 2 ч. / В. Д. Чертовской. — Минск: БПИ, 1984. — Ч. 1. — 88 с.

УДК 621.3.087.9

Г. Е. Барщевский,
аспирант,
СПГУВК

СИНТЕЗ ПЛАНОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА ДЛЯ СУДОВЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

SYNTHESIS OF PLANS OF THE FOURTH ORDER COMPUTATIONAL EXPERIMENTS FOR SHIP'S AUTOMATED SYSTEMS

В работе определены условия минимизации интегральной ошибки аппроксимации для моментов второго, четвертого и шестых порядков. Результаты проведенных исследований подтверждают необхо-

димостью использования необходимых и достаточных условий минимизации интегральной ошибки аппроксимации.

This paper defines the conditions to minimize the integral error of approximation for the moments of the second, fourth and sixth orders. The studies confirm the need to use the necessary and sufficient conditions for the minimization of the integral approximation error.

Ключевые слова: аппроксимация, минимизация интегральной ошибки аппроксимации.

Key words: approximation, the minimization of the integral approximation error.

III При синтезе планов вычислительного эксперимента четвертого порядка, где число факторов $n > 2$, возникают сложности при реализации конфигурации «гиперкрест». Так, например, для четырехфакторного плана эта конфигурация должна содержать 64 точки, что существенно увеличивает объем необходимых расчетов и усложняет обработку результатов эксперимента. В то же время проведенные расчеты показали, что неполный полином четвертого порядка не содержит члена выше x_i, x_j, x_s^2 , по точности практически не уступает полному полиному четвертого порядка. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать синтез планов для получения неполных полиномов четвертого порядка, не содержащих членов x_i, x_j, x_s^2 . Тогда вместо конфигурации «гиперкрест» используем конфигурацию «ядро плана Бокса–Бенкина», у которой столбцы x_i, x_j^2 и x_i, x_s^2 отличаются друг от друга.

Для получения оптимальных планов вычислительного эксперимента необходимо учитывать уравнения всех четырех моментов вплоть до восьмого, то есть десять четных моментов. Однако учет всех этих моментов, то есть решение системы десяти линейных уравнений в аналитическом виде с учетом положительности приведенных частот, представляет определение трудностей, а план эксперимента, удовлетворяющий условиям положительности частот, должен содержать большое число конфигураций [1]. Поэтому рассмотрим квазиположительный план, при параметрическом синтезе которого не будем учитывать четными моменты восьмого порядка. В этом случае квазиоптимальный план вычислительного эксперимента будет содержать шесть конфигураций: два гиперкуба, ядро плана Бокса–Бенкина, три комплекта звездных точек, а также нулевую точку.

Тогда условия минимизации интегральной ошибки аппроксимации можно записать в виде системы шести уравнений для моментов второго, четвертого и шестых порядков:

$$N_{12}a_1^4\xi_1^* + N_{22}a_2^4\xi_2^* + N_{32}a_3^4\xi_3^* = \alpha_{22}, \quad (1)$$

$$N_{12}a_1^6\xi_1^* + N_{22}a_2^6\xi_2^* + N_{32}a_3^6\xi_3^* = \alpha_{42}, \quad (2)$$

$$N_{13}a_1^6\xi_1^* + N_{23}a_2^6\xi_2^* = \alpha_{222}, \quad (3)$$

$$N_{11}a_1^2\xi_1^* + N_{21}a_2^2\xi_2^* + N_{31}a_3^2\xi_3^* + N_{41}a_4^2\xi_4^* + N_{51}a_5^2\xi_5^* + N_{61}a_6^2\xi_6^* = \alpha_2, \quad (4)$$

$$N_{11}a_1^4\xi_1^* + N_{21}a_2^4\xi_2^* + N_{31}a_3^4\xi_3^* + N_{41}a_4^4\xi_4^* + N_{51}a_5^4\xi_5^* + N_{61}a_6^4\xi_6^* = \alpha_4, \quad (5)$$

$$N_{11}a_1^6\xi_1^* + N_{21}a_2^6\xi_2^* + N_{31}a_3^6\xi_3^* + N_{41}a_4^6\xi_4^* + N_{51}a_5^6\xi_5^* + N_{61}a_6^6\xi_6^* = \alpha_6, \quad (6)$$

где $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ — размеры соответствующих конфигураций;

$\xi_1^*, \xi_2^*, \xi_3^*, \xi_4^*, \xi_5^*, \xi_6^*$ — приведенные частоты, проведения эксперимента в отдельных конфигурациях;

$\alpha_{22}, \alpha_{42}, \alpha_{222}, \alpha_2, \alpha_4, \alpha_6$ — четные собственные и смешанные моменты второго, четвертых, шестых порядков.

Система включает шесть уравнений и содержит двенадцать неизвестных ($a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, \xi_1^*, \xi_2^*, \xi_3^*, \xi_4^*, \xi_5^*, \xi_6^*$), то есть имеет бесконечное число решений, кроме того, должны выполняться условия положительности частот $\xi_i^* > 0$.

Для удобства решений системы уравнений (1)–(6) разбиваем систему на две подсистемы. Первая система уравнений (1)–(5) соответствует смешанным моментам, а вторая подсистема уравнений (4)–(6) — собственным моментам. Так как у первой подсистемы уравнений (1)–(3) в качестве неизвестных содержатся только размеры и частоты первых трех конфигураций $a_1, a_2, a_3, \xi_1^*, \xi_2^*, \xi_3^*$, а во второй подсистеме уравнений (4)–(6) — все остальные неизвестные, то целесообразно решить сначала первую подсистему уравнений (1)–(6). Так как в подсистеме уравнений (1)–(6) содержатся только шесть неизвестных ($a_1, a_2, a_3, \xi_1^*, \xi_2^*, \xi_3^*$), то ее аналитическое решение не представляет возможности. С этой целью выразим приведенные частоты проведения эксперимента в отдельных конфигурациях плана $\xi_1^*, \xi_2^*, \xi_3^*$ через размеры конфигураций плана a_1, a_2, a_3 и значения смешанных моментов a_{22}, a_{42}, a_{222} . При этом учитывается, что $N_{11} = N_{12} = N_{13} = N_{21} = N_{22} = N_{23} = N_1$.

В данном случае число неизвестных равно числу уравнений и система (1)–(3) может быть решена численными методами [2]. Однако для наглядности представим аналитические решения системы уравнений в виде зависимостей приведенных частот проведения эксперимента в отдельных конфигурациях ξ_i^* от размеров этих конфигураций a_i и значений четных моментов. Далее, меняя значения размеров конфигураций, можно определить множество решений, удовлетворяющих условиям положительности частот.

Из уравнений (2)–(3) определяются выражения для приведенной частоты проведения эксперимента в третьей конфигурации:

$$\xi_3^* = \frac{\alpha_{42} - \alpha_{222}}{N_{32} a_3^6}. \quad (7)$$

Введем приведенный момент α'_{22} :

$$\alpha'_{22} = \alpha_{22} - N_{32} a_3^4 \xi_3^* = \alpha_{22} - \frac{\alpha_{42} - \alpha_{222}}{a_3^2}.$$

Тогда можно записать:

$$N_1 a_1^4 \xi_1^* + N_1 a_2^4 \xi_2^* = \alpha'_{22}, \quad (8)$$

$$N_1 a_1^6 \xi_1^* + N_1 a_2^6 \xi_2^* = \alpha_{222}.$$

Решив систему уравнений (8), можно получить:

$$\xi_1^* = \frac{\alpha'_{22} a_2^2 - \alpha_{222}}{N_1 a_1^4 (a_2^2 - a_1^2)}, \quad (9)$$

$$\xi_2^* = \frac{\alpha_{222} - \alpha'_{22} a_1^2}{N_1 a_2^4 (a_2^2 - a_1^2)}. \quad (10)$$

Для решения подсистемы уравнений (4)–(6) выведем приведенные собственные моменты $\alpha'_2, \alpha'_4, \alpha'_6$, которые определяются выражениями:

$$\alpha'_2 = \alpha_2 - (N_1 * a_1^2 * \xi_1^* + N_1 * a_2^2 * \xi_2^* + N_{32} * a_3^2 * \xi_3^*) = \alpha_2 - \frac{\alpha'_{22} a_2^2 - \alpha_{222}}{a_1^2 (a_2^2 - a_1^2)} -$$

$$\frac{\alpha_{222} - \alpha'_{22} a_1^2}{a_2^2 (a_2^2 - a_1^2)} - \frac{\alpha_{42} \alpha_{222}}{a_3^2},$$

$$\alpha'_4 = \alpha_4 - (N_1 * a_1^4 * \xi_1^* + N_1 * a_2^4 * \xi_2^* + N_{32} * a_3^4 * \xi_3^*) = \alpha_4 - \alpha'_{22} - \alpha_{42} + \alpha_{222},$$

$$\alpha'_2 = \alpha_6 - (N_1 * a_1^6 * \xi_1^* + N_1 * a_2^6 * \xi_2^* + N_{32} * a_3^6 * \xi_3^*) = \alpha_6 - \frac{a_1^2 (\alpha'_{22} - \alpha_{222})}{a_2^2 - a_1^2} -$$

$$\frac{a_2^2 (\alpha_{222} - \alpha'_{22} a_2^2)}{a_2^2 - a_1^2} - a_3^2 (\alpha_{42} - \alpha_{222}). \quad (11)$$

Тогда уравнения (4)–(6) принимают вид:

$$N_{41}a_4^2\xi_4^* + N_{51}a_5^2\xi_2^* + N_{61}a_6^2\xi_6^* = \alpha_2', \tag{12}$$

$$N_{41}a_4^4\xi_4^* + N_{51}a_5^4\xi_2^* + N_{61}a_6^4\xi_6^* = \alpha_4', \tag{13}$$

$$N_{41}a_4^6\xi_4^* + N_{51}a_5^6\xi_2^* + N_{61}a_6^6\xi_6^* = \alpha_6'. \tag{14}$$

где $N_{41} = N_{51} = N_{61} = 2$.

Решив систему уравнений (12)–(14), получим следующие выражения для приведенных частот проведения эксперимента в четвертой, пятой и шестой конфигурациях.

$$\xi_4 = \frac{\alpha_2'a_5^4a_6^6 - \alpha_2'a_5^6a_4^4 - \alpha_4'a_4^2a_6^6 + \alpha_4'a_5^2a_6^4 + \alpha_4'a_5^6a_6^2 - \alpha_6'a_5^4a_6^2}{2a_4^2a_5^2a_6^2(a_5^2a_6^4 - a_5^4a_6^2 - a_4^2a_5^4 + a_6^2a_4^4 + a_4^2a_5^4 - a_4^4a_5^2)}, \tag{15}$$

$$\xi_4 = \frac{\alpha_4'a_4^2a_6^6 - \alpha_6'a_4^2a_6^4 - \alpha_2'a_5^4a_6^6 + \alpha_2'a_5^6a_6^4 + \alpha_6'a_4^4a_6^6 - \alpha_4'a_5^4a_6^2}{2a_4^2a_5^2a_6^2(a_5^2a_6^4 - a_5^4a_6^2 - a_4^2a_5^4 + a_6^2a_4^4 + a_4^2a_5^4 - a_4^4a_5^2)}, \tag{16}$$

$$\xi_4 = \frac{\alpha_6'a_4^2a_5^4 - \alpha_4'a_4^2a_5^6 - \alpha_6'a_5^4a_4^2 + \alpha_4'a_5^2a_6^6 + \alpha_2'a_4^4a_5^6 - \alpha_2'a_5^4a_4^6}{2a_4^2a_5^2a_6^2(a_5^2a_6^4 - a_5^4a_6^2 - a_4^2a_5^4 + a_6^2a_4^4 + a_4^2a_5^4 - a_4^4a_5^2)}. \tag{17}$$

Проиллюстрируем указанные расчеты на примере четырехфакторного эксперимента, тогда $n = 4$; $N_{11} = N_{12} = N_{21} = N_{22} = N_{13} = N_{23} = N_1 = 16$; $N_{32} = 4$. Как и ранее, будем считать, что исследуемые параметры подчиняются равномерному закону распределения, то есть $a_2 = \frac{1}{3}$; $a_4 = \frac{1}{5}$; $a_6 = \frac{1}{7}$; $a_{22} = \frac{1}{9}$; $a_{42} = \frac{1}{15}$; $a_{222} = \frac{1}{27}$.

На основе выражений (15)–(16) определяем множество допустимых значений приведенных частот, соответствующих расчетным значениям a_1, a_2, a_3 размеров первых трех конфигураций. Результаты расчетов сведены в табл. 1.

Таблица 1

Множество допустимых значений приведенных частот

a_1	a_2	a_3	ξ_1	ξ_2	ξ_3
0,52	0,75	0,95	2,047241E-02	1,073199E-02	1,007685E-02
0,578	0,744	0,91	1,189423E-02	1,103334E-02	1,304421E-02
0,528	0,708	0,91	2,615515E-03	1,792883E-02	1,304421E-02
0,51	0,708	0,972	1,125745E-02	1,680602E-02	8,783521E-03
0,52	0,72	0,91	6,943486E-03	1,563042E-02	1,304421E-02
0,82	0,6	1	3,408891E-03	2,740246E-02	7,407407E-03
0,502	0,736	0,986	2,256504E-02	1,229104E-02	8,061294E-03
0,608	0,762	0,972	2,009407E-02	6,639470E-03	8,783521E-03
0,786	0,626	0,944	4,729399E-03	1,993456E-02	1,046729E-02
0,53	0,716	0,894	3,142083E-03	1,666371E-02	1,450912E-02
0,486	0,68	0,996	2,623564E-03	2,306364E-02	7,587701E-03
0,5	0,686	0,974	2,508953E-03	2,183502E-02	8,675859E-03
0,35	0,678	0,992	2,447307E-03	2,378446E-02	7,773135E-03
0,42	0,678	0,998	2,581211E-03	2,368491E-02	7,496922E-03
0,392	0,7	0,954	1,145072E-02	1,932245E-02	9,825982E-03
0,314	0,676	0,998	2,578334E-03	2,423105E-02	7,496922E-03
0,204	0,678	0,986	2,517784E-03	2,382890E-02	8,061294E-03
0,178	0,68	0,978	2,410163E-03	2,341253E-02	8,465120E-03
0,266	0,678	0,988	2,755023E-03	2,382072E-02	7,963877E-03
0,33	0,69	0,95	3,334146E-03	2,140982E-02	1,007685E-02

Таблица 1
(Окончание)

0,18	0,692	0,938	5,847317E-03	2,107863E-02	1,087550E-02
0,77	0,498	0,928	9,286113E-03	2,487137E-02	1,159787E-02
0,47	0,75	0,926	2,259462E-02	1,163771E-02	1,174898E-02
0,386	0,728	0,886	1,364011E-02	1,524684E-02	1,531313E-02
0,798	0,514	0,994	6,454653E-03	3,513895E-02	7,679765E-03

В основу плана вычислительного эксперимента может быть положен любой из вариантов, приведенных в табл. 1. Воспользуемся первым из вариантов ($a_1 = 0,52$; $a_2 = 0,75$; $a_3 = 0,95$) так как у этого варианта значения частот в первых трех конфигурациях имеют один и тот же порядок, а размеры третьей конфигурации достаточно близки к единице. Подставив значения размеров первых трех конфигураций a_1, a_2, a_3 и соответствующих им частот проведения эксперимента в указанных конфигурациях $\xi_1^*, \xi_2^*, \xi_3^*$ в выражения (1)–(3) и (4)–(6) и задавая различные размеры a_4, a_5, a_6 четвертой, пятой и шестой конфигураций, получим множество допустимых вариантов значений приведенных частот $\xi_4^*, \xi_5^*, \xi_6^*$ сведенных в табл. 2.

Таблица 2

Множество допустимых вариантов значений приведенных частот

a_4	a_5	a_6	ξ_4	ξ_5	ξ_6
0,48	0,92	0,69	2,789103E-02	1,243982E-02	5,388665E-03
1	0,64	0,63	6,382281E-03	3,250502E-03	2,974809E-02
1	0,63	0,65	6,381654E-03	3,140286E-02	1,598239E-03
1	0,71	0,63	6,376938E-03	3,725245E-04	3,264292E-02
1	0,63	0,78	6,368048E-03	3,283478E-02	1,981154E-04
0,8	0,63	1	1,782350E-04	3,286041E-02	6,364337E-03
0,13	0,89	0,47	4,356535E-02	1,647020E-02	2,597738E-02
0,14	0,6	0,93	5,636336E-02	2,385404E-02	1,136377E-02
0,16	0,45	0,89	1,314216E-02	3,007387E-02	1,653113E-02
0,18	0,54	0,89	6,089670E-02	1,609907E-02	1,622669E-02
0,2	0,6	0,96	5,124317E-03	3,064532E-02	8,988084E-03
0,21	0,66	0,94	4,540389E-02	2,026005E-02	9,838294E-03
0,25	0,71	0,92	5,130584E-02	1,387877E-02	1,100875E-02
0,27	0,9	0,48	3,026251E-03	1,523189E-02	3,021814E-02
0,3	0,83	0,98	4,745131E-02	1,826762E-02	2,775431E-03
0,43	0,72	0,99	1,999454E-02	1,912954E-02	6,026894E-03

Как и ранее, в основу вычислительного эксперимента может быть положен любой из полученных параметров. В данном случае мы воспользуемся седьмым вариантом ($a_4 = 0,13$; $a_5 = 0,88$; $a_6 = 0,47$).

Значения приведенных и абсолютных частот сведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения приведенных и абсолютных частот

Характеристика конфигурации	Вид конфигурации					
	ГК-1	ГК-2	Б-Б	ЗТ-1	ЗТ-2	ЗТ-3
Размер a	0,52	0,75	0,95	0,13	0,88	0,47
Приведенная частота ξ^*	0,0204724	0,0107319	0,0100768	0,0940711	0,0177916	0,0188007
Абсолютная частота ξ	0,01431	0,007501	0,0070436	0,030452	0,0115126	0,018157

Сумма приведенных частот для данного плана определяется выражением

$$\xi_{\Sigma}^* = 16(\xi_1' + \xi_2') + 24\xi_3' + 8(\xi_4' + \xi_5' + \xi_6').$$

Как видно из табл. 3, сумма всех приведенных частот во всех рассмотренных вариантах больше единицы. Это еще раз подтверждает необходимость использования необходимых и достаточных условий минимизации интегральной ошибки аппроксимации.

Список литературы

1. Зубарев Ю. Я. Планирование вычислительного эксперимента в электроэнергетике / Ю. Я. Зубарев, В. Д. Гаскаров, В. А. Удалой. — СПб.: Энергоатомиздат, 2000.
2. Задгенидзе И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И. Г. Задгенидзе. — М.: Наука, 1976.

УДК 004.056.5

Н. М. Вихров,

д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК;

В. Д. Гаскаров,

д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК;

А. А. Шнуренко

д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК

ЗАЩИТА КОРПОРАТИВНЫХ ДАННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА В ОТКРЫТЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

CORPORATE DATA SECURITY FOR WATER TRANSPORT COMPANIES IN PUBLIC NETWORKS

В статье рассматривается проблематика информационного обмена в среде корпоративных систем обработки данных в свете использования публичных сетей в качестве транспортной среды, освещаются основные угрозы данным, передаваемым в открытых сетях, а также способы их защиты.

The article considers the problem of information exchange within a corporate system of data processing when using public networks as the transport environment. The main dangers for data transmitting in public networks and the ways of their protection are presented.

Ключевые слова: вычислительные сети, угрозы информационной безопасности, защита информации, виртуальные частные сети, надежная аутентификация, многофакторная аутентификация.

Key words: computing networks, information security dangers, information protection, virtual private networks, secure authentication, multifactor authentication.

ПРОЦЕСС управления предприятиями транспортной отрасли предполагает обработку большого количества разнородной информации, относящейся к различным сферам существования организации. Некоторые данные, обрабатываемые в системе, могут представлять собой информацию различных уровней конфиденциальности, например персональные данные или коммерческая тайна, к тому же специфика отрасли предполагает различное число удаленных подразделений, филиалов, требующих доступа к общекорпоративным данным, для обеспечения эффективной работы на местах. Аналогичная ситуация возникает при обмене данными с системами деловых партнеров или с удаленными сотрудниками.

Задача защиты конфиденциальной информации во многих организациях является решенной на момент, предшествующий автоматизации процедур, связанных с накоплением, хранением и обработкой данных. Внедрение вычислительных систем привело к переходу информации в новую сферу существования, что повлекло за собой появление новых видов угроз, направленных на нарушение свойств защищаемой информации. В частности, эти изменения коснулись процесса обмена данными.

Построение собственной физической сети является либо экономически неоправданным, либо технически невозможным, поэтому для обмена корпоративной информацией с удаленным пользователем приходится прибегать к транспортным услугам существующей глобальной сети.

Основная проблема в защите корпоративного трафика возникает при выходе данных за пределы локальной сети.

Таким образом, в общем виде можно сформулировать следующую задачу: необходимо обеспечить защиту корпоративных данных при передаче их в открытой, потенциально враждебной сети, без ущерба их конфиденциальности, целостности и доступности.

Существует множество угроз компьютерной безопасности, в результате которых может быть нанесен ущерб информации или системам ее обработки, но в рамках рассматриваемой проблемы нас интересуют те из них, которые могут быть реализованы по отношению к данным, передаваемым по сети, к примеру такими угрозами являются следующие:

— прослушивание сети — позволяет злоумышленнику получать доступ к содержимому передаваемых сетевых пакетов;

— атаки типа «человек посередине» — позволяют злоумышленнику полностью контролировать поток данных, проходящих через его систему;

— атаки, связанные с десинхронизацией сеансов связи, позволяют злоумышленнику выступать от лица доверенных узлов.

Сталкиваясь с необходимостью передачи конфиденциальных данных по открытым сетям, мы основываемся на предположении, что эти данные будут доступны злоумышленнику и задачу защиты следует решать с учетом этого условия. Следовательно, необходимо предпринять такие меры, чтобы предотвратить ряд угроз, таких как:

— несанкционированный доступ к данным или несанкционированная модификация данных в случае их перехвата;

— вмешательство злоумышленника в сеанс передачи данных;

— фальсификация данных.

Для предотвращения несанкционированного доступа к конфиденциальным данным на текущий момент используют криптографические методы, позволяющие предотвратить раскрытие данных в случае их перехвата, а также избежать их фальсификации.

Технологии, позволяющие решить поставленную задачу, имеют общее название — виртуальные частные сети (*VPN — Virtual Private Network*)

В состав этой технологии входят:

— шифрование;

— аутентификация;

— управление ключами и т. д.

В VPN следует выделить следующие направления:

— создание защищенного соединения между удаленным пользователем и локальной сетью предприятия (Remote Access VPN);

— организация защищенной сети между территориально удаленными сегментами сети предприятия (Intranet VPN);

— предоставления доступа по защищенному соединению удаленным клиентам организации, например клиентам банка к онлайн-интерфейсу управления своими счетами и т. п. (Extranet VPN);

— создание нескольких логических подсетей в одной логической сети организации, например для разделения трафика между различными подразделениями.

Способы реализации VPN могут различаться, и подбирать решение следует исходя из специфики решаемой задачи. Реализации бывают следующим:

— программно-аппаратное решение представляет собой аппаратный комплекс под управлением специализированного программного обеспечения, является высокопроизводительным решением с высоким уровнем надежности и защищенности;

— программное решение является специализированным программным обеспечением, работающим на терминале пользователя;

— комплексное решение — интегрированный программно-аппаратный комплекс включающий криптошлюз, межсетевой экран, маршрутизатор и т. п.

Структура VPN представляет собой сети территориально распределенных филиалов организации связанные между собой через открытую сеть (Интернет) с помощью VPN шлюзов (криптошлюзов).

Основой программного обеспечения VPN являются специальные протоколы, осуществляющие построение защищенного соединения, эти протоколы делятся на два типа:

— туннелирующие протоколы;

— шифрующие протоколы.

Туннелирующие протоколы обеспечивают связь между узлами путем инкапсуляции протоколов и формируют VPN соединение, а шифрующие протоколы производят криптографические преобразования данных для их безопасной передачи через туннель.

Криптошлюз может работать в режиме транспорта или в режиме туннеля, в режиме транспорта производится только шифрование блока данных, содержащегося внутри сетевого пакета, оставляя открытыми заголовок, в режиме туннелирования производится полное шифрование пакета, приходящего из внутренней сети, и инкапсуляция его в дейтаграмму сетевого уровня, в этом случае в заголовке пакета указываются только адреса шлюзов, и, таким образом, злоумышленник, просматривающий трафик, не будет иметь представления ни о том, какой узел внутри отправляющей сети является источником данных, ни том, какой узел принимающей сети является адресатом, также невозможно будет определить внутреннее адресное пространство защищаемых сетей и их конфигурацию.

Наиболее распространенные наборы протоколов для построения VPN для удаленного доступа клиента это:

— PPTP (Point-to-Point Tunneling Protocol) для туннелирования и MPPE (Microsoft Point-to-Point Encryption) для шифрования;

— L2TP (Layer Two Tunneling Protocol) для туннелирования и IPSec (IP-security) для шифрования.

На сегодня вторая связка является наиболее часто используемой, поскольку оба протокола обеспечивают более высокий уровень защиты.

Для организации закрытого соединения между двумя сетями используется протокол IPSec.

Основные преимущества использования VPN заключаются в следующем:

— внешние подключения к сети организации независимо от места нахождения клиента, без использования выделенных линий;

— высокий уровень защиты передаваемых данных даже в случае перехвата, злоумышленник не сможет их прочитать;

— хорошая масштабируемость — при появлении новых филиалов, удаленных сотрудников или мобильных офисов процесс подключения их к VPN не усложнится;

— использование открытых стандартов дает хорошую совместимость продукции различных производителей.

Помимо традиционного подхода к построению VPN на основе защищенного протокола IPSec, существует альтернативная технология для обеспечения доступа удаленных пользователей к корпоративной сети.

Технология IPSec VPN доказала свою надежность и защищенность, но в части, касающейся подключения удаленных пользователей, существует ряд негативных моментов:

— для создания защищенного соединения необходимо специальное клиентское программное обеспечение, которое может быть не совместимо с теми или иными терминалами (например, мобильными устройствами);

— использование в сети организации сервиса трансляции сетевых адресов может явиться проблемой при подключении удаленного пользователя из неизвестной сети (сеть мобильного оператора, роуминг, общественный компьютер и т. д.);

— необходимость специальных протоколов и доступность специфических портов, чего может не предоставлять оператор сети общего доступа.

Для разрешения этих проблем может использоваться технология VPN, опирающаяся на защищенный протокол SSL и лишенная вышеназванных недостатков, хотя она и имеет свои недостатки.

К преимуществам SSL VPN можно отнести следующее:

— доступ осуществляется независимо от местоположения клиента и наличия у него статического IP-адреса;

— не нужно специального программного обеспечения, требуется только браузер, поддерживающий протокол SSL (практически все распространенные браузеры на всех платформах это условие выполняют);

— быстрая и простая настройка доступа;

— возможность удаленной проверки терминала пользователя на соответствие политике безопасности;

К недостаткам данной технологии следует отнести:

— подверженность компьютеров пользователей угрозам заражения вредоносными программными средствами и, как следствие, угроза корпоративной сети;

— забота о защищенности точки доступа ложится на пользователя;

Технология SSL VPN не является конкурирующей с IPSec VPN в области объединения сегментов корпоративной сети, но может выступать в роли удобного и доступного способа подключения удаленных клиентов, имеющих специфические терминалы, в особенности мобильные. Таким образом SSL VPN может дополнять IPSec VPN, не влияя на структуру существующих защитных механизмов.

Неотъемлемой частью системы частных сетей являются средства надежной аутентификации. Аутентификация узлов решается на уровне программно-аппаратного обеспечения криптошлюзов, но остается важная задача, касающаяся аутентификации пользователей, количество которых в больших организациях может быть весьма большим.

Рассмотрим основные положения данного спектра средств обеспечения информационной безопасности.

Идентификация — процедура опознания «один из многих», в которой идентифицируемый субъект, в роли которого может выступать пользователь, процесс или устройство, сообщает свой идентификатор (уникальное имя или номер), отличающий его от остальных субъектов.

Аутентификация — проверка подлинности, процедура опознания «один к одному», в которой субъект предъявляет подтверждение того, что он действительно имеет право использовать указанный идентификатор.

В процедуре аутентификации участвуют *субъект* и *аутентификатор*.

В качестве подтверждения при проведении процедуры аутентификации могут использоваться следующие факторы:

— что-то, что субъект знает, — пароль, личный номер, криптографический ключ;

— что-то, чем субъект владеет, — аппаратный ключ (смарт-карта и т. п.) или другое устройство такого же назначения;

— что-то, чем субъект является, — биопараметрические характеристики — голос, отпечатки пальцев, радужная оболочка глаз и т. п.

— место, где субъект находится, — сетевой адрес, координаты и т. п.

Согласно этим факторам аутентификация может быть однофакторной или многофакторной:

— однофакторная аутентификация полагается лишь на один фактор, например метод с многопарольным паролем;

— многофакторная аутентификация использует несколько факторов одновременно, при этом нужно учитывать, что факторы должны быть разной природы, например многопарольный пароль и смарт-карта или токен.

Систему идентификации и аутентификации можно считать базовой, поскольку остальные сервисы ориентированы на работу с именованными субъектами.

Существует несколько методов аутентификации

Многопарольные пароли или статическая аутентификация. Простейший способ аутентификации, заключающийся в предъявлении субъектом аутентификатору секретного набора символов.

Метод имеет серьезные недостатки выражающиеся в следующем:

1. Использование субъектом слабых паролей:

— паролей, эквивалентных логину или являющихся его очевидной производной;

— паролей, напрямую связанных с субъектом (имена, даты рождения, места проживания и т. п.) и таким образом легко угадываемых;

— паролей, являющихся словарными словами либо словосочетаниями и поддающихся атакам типа «*перебор по словарю*»;

— паролей, состоящих из малого числа символов, поддающихся атаке типа «*грубая сила*» (*bruteforce*), то есть перебору всех возможных комбинаций.

2. Пароль может быть подсмотрен при вводе.

3. Пароль может быть добыт методами социальной инженерии.

Метод одноразовых паролей, или динамическая аутентификация, основан на использовании пароля, ограниченного одним сеансом аутентификации, после чего он становится недействительным. Системы с использованием одноразовых паролей отличаются методом генерации списков паролей:

— список паролей генерируется случайным образом и копии сохраняются на аутентифицирующем сервере и у субъекта;

— список паролей (или единственный пароль, что лучше) генерируется по запросу субъекта и подтверждается аутентифицирующим сервером.

Некоторые методы генерации и распространения одноразовых паролей:

— *список паролей* — бумажный носитель со списком выдается субъекту при регистрации либо распечатывается по запросу терминалом;

— *скретч-карта* — пластиковая или картонная карта со списком паролей, скрытым специальным покрытием, для доступа к очередному паролю покрытие требуется удалить;

— *генерация на основе математических алгоритмов* — каждый последующий пароль является значением функции от предыдущего пароля. Могут применяться криптографические хеш-функции;

— *синхронизация по времени* — данный метод связан с использованием аппаратных токенов — устройств, оснащенных внутренними часами, синхронизированными с аутентифициру-

ющим сервером, вычислительной подсистемой и алгоритмом генерации пароля, основанного на текущем времени. В качестве аппаратной платформы может использоваться мобильное устройство (телефон, смартфон, ПДА и т. п.). Новый пароль может генерироваться либо по запросу, либо автоматически через заданный промежуток времени (30–60 с);

— *вызов-ответ* — этот метод так же использует аппаратный токен, защищенный PIN-кодом, содержащий секретный ключ. При запросе субъекта на вход в систему, аутентифицирующий сервер высылает случайный вызов, который субъект вводит в токен, после чего он обрабатывается хеш-функцией и возвращается на сервер, где аутентифицирующая система, выполнив аналогичные действия, проводит сравнение, на основании которого субъект допускается (или не допускается) в систему;

— *передача пароля по альтернативному каналу связи* — субъект осуществляет запрос на вход через стандартный канал (компьютерную сеть), на что система высылает ему одноразовый пароль по альтернативному каналу связи (электронная почта, пейджинговая сеть, сеть сотовой связи и т. п.). Субъект предъявляет полученный пароль через стандартный канал.

Метод биометрической аутентификации базируется на уникальности некоторых человеческих характеристик. Такими характеристиками могут быть:

- отпечатки пальцев;
- радужная оболочка глаз;
- голос;
- рисунок кровеносных сосудов ладони;
- почерк.

Работа с биометрическими данными сводится к формированию базы данных субъектов, путем снятия их характеристик и созданием цифрового *биометрического шаблона* для каждого. Впоследствии при входе в систему параметр субъекта повторно сканируется и контрольный шаблон сравнивается с шаблоном, хранящимся в базе.

Основным недостатком биометрической идентификации является невозможность замены ключевой информации в случае ее компрометации, как в других способах идентификации, таким образом, если третьей стороне станет доступен биометрический шаблон того или иного субъекта, то подобный способ аутентификации станет для него ненадежным. Так же контрольный шаблон никогда не совпадает с эталонным, поэтому система не может принять однозначного решения и должна выдать заключение, достаточно ли совпадают контрольный и эталонный шаблоны. В связи с этим биометрические методы аутентификации не могут считаться надежными и используются в основном как вспомогательные в многопараметрических системах или как способ идентификации субъектов.

Для увеличения уровня безопасности в современных системах используют несколько факторов аутентификации одновременно. При создании подобных систем необходимо принимать во внимание, что не любая комбинация факторов является многофакторной аутентификацией и факторы должны быть разной природы, так совместное использование двух паролей: одного, вводимого с физической клавиатуры, а другого — с виртуальной экранной, не будет являться многофакторной аутентификацией, потому что это однотипные средства, относящиеся к «аутентификации с многократным паролем». Наиболее распространенные схемы многофакторной аутентификации построены на использовании *токенов*.

Наиболее надежные способы аутентификации на текущий момент опираются на использование персональных специализированных программно-аппаратных средств, имеющих общее название — токены. В качестве токена могут выступать смарт-карты, USB-ключи с микрочипом и т. п.

Программные версии токенов представляют собой программный компонент, расположенный на пользовательском терминале субъекта, таким терминалом могут являться сотовые телефоны, ПДА, ноутбуки и т. п. Эта технология является весьма гибкой и более дешевой по сравнению с аппаратными токенами. Наиболее широко программные токены применяются при работе с сервисами, использующими протокол SSL. Этот протокол позволяет аутентифицировать не только сервер, но и клиента, то есть осуществлять двухстороннюю аутентификацию.

Преимущества:

- надежная двухфакторная аутентификация в высокозащищенном программном исполнении;
- удобное расположение SSL-сертификатов пользователя в одном устройстве;
- поддержка широкого спектра вычислительных платформ и устройств;
- возможность их применения там, где нет оборудования для считывания аппаратных токенов.

Недостатки:

- могут использоваться только на терминалах с соответствующим программным обеспечением;
- программные токены в силу своей природы уязвимы к атакам с применением вредоносных программных средств, в том числе кейлогеров, а также к атакам типа визуальный спуфинг (visual spoofing).

Аппаратные токены являются физическими устройствами и могут быть частью схемы многофакторной аутентификации. Существуют различные виды токенов, но основными являются смарт-карты и USB-токены. Эти устройства могут хранить цифровые сертификаты, применяемые в инфраструктуре открытых ключей PKI, а также способны производить криптографические преобразования.

USB-токен подключается непосредственно к USB-разъему компьютера и не требует специальных драйверов, после распознавания токена пользователь должен ввести свой пароль (PIN) в качестве вторичного фактора аутентификации.

Смарт-карты могут оснащаться микропроцессором (chip cards) или иметь только запоминающее устройство (memory cards), карты имеющие микропроцессор, могут самостоятельно производить вычисления, например криптографические.

Текущая ситуация в сфере производства и внедрения средств надежной аутентификации характеризуется рядом факторов:

- в среде руководителей предприятий и организаций растет понимание того, что корпоративная информация является одним из важнейших ресурсов, а потери, возможные при нарушении ее конфиденциальности, целостности или доступности, могут быть фатальными;
- расширение нормативно-правовой базы, а также принятие новых стандартов в области информационной безопасности;
- растущий интерес государства к средствам строгой идентификации и аутентификации, использование криптографических средств (ЭЦП, цифровых сертификатов).

Одним из наиболее востребованных аппаратных средств строгой аутентификации являются токены, обеспечивающие двухфакторную аутентификацию.

В настоящее время можно выделить два основных направления в развитии этой технологии:

- частные пользователи;
- корпоративные пользователи.

В рыночном сегменте, ориентированном на частного пользователя, наблюдается миграция средств строгой аутентификации с автономных устройств на мобильные устройства. Наиболее перспективной технологией в данной области видится использование в качестве средств двухфакторной аутентификации SIM-карт мобильных телефонов, которые по своей природе физически уже являются полноценными токенами с микрочипом и запоминающим устройством. Так же следует обратить внимание на возможность оснащения такого рода токенов радиочастотным идентификатором (RFID) для возможности дистанционной идентификации.

В этой сфере имеются предпосылки к внедрению единого цифрового аутентификатора для субъекта, позволяющего однозначно определять его в информационном пространстве.

В корпоративном сегменте существует несколько направлений развития аппаратных средств аутентификации:

- автономные токены;
- USB-токены;
- смарт-карты.

Автономные токены являются мобильными персональными устройствами, не требующими подключения к компьютеру, имеют встроенный источник питания и предоставляют возможность аутентификации либо по одноразовому паролю (OTP — one-time password), либо по методу запрос/ответ.

USB-токены являются динамично развивающейся областью аппаратных средств двухфакторной аутентификации, стабильно увеличивающей долю рынка в связи со сложившейся тенденцией к криптографическим методам аутентификации. Представляют собой устройства, содержащие микропроцессор с операционной системой и криптоалгоритмами и подключающиеся к USB-интерфейсу компьютера. Не нуждаются в специальном программном обеспечении, позволяют проводить строгую двухфакторную аутентификацию пользователя, могут осуществлять криптографические преобразования и формировать электронно-цифровую подпись пользователя.

Смарт-карты — пластиковые карты, оснащенные микропроцессором для криптографических преобразований, и запоминающие устройства для хранения информации о пользователе, криптографические ключи, цифровые сертификаты и т. п. Для использования требует дополнительного оборудования — кард-ридера. В последнее время является динамично развивающимся сегментом отрасли.

Внедрение аппаратных средств двухфакторной аутентификации в комплексную систему защиты информации предприятия позволяет значительно повысить уровень безопасности корпоративной информации, хранящейся и обрабатываемой в корпоративной сети за счет следующих факторов:

- заменяет ненадежную парольную аутентификацию строгой двухфакторной, основанной на криптопреобразованиях;
 - дает возможность использовать систему управления токенами как основу централизованной системы управления доступом;
 - возможность создавать электронные документы, заверенные ЭЦП;
 - организация защищенных сетевых каналов передачи данных (VPN, IPSec, SSL);
 - шифрование данных на носителях;
 - защищенный терминальный доступ;
- и т. п.

Все эти операции могут производиться с любого компьютера в силу того, что токен генерирует ключи шифрования и ЭЦП аппаратно, что предотвращает возможность их перехвата.

Использование описанных средств может способствовать усилению защищенности корпоративной информации, что благотворно скажется на эффективности работы предприятия в целом.

Список литературы

1. Meyer R. Secure Authentication on the Internet / R. Meyer; SANS Institute—2007 [Электрон. ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: http://www.sans.org/reading_room/whitepapers/securecode/secure-authentication-internet_2084.
2. Analysis & Review of FFIEC Multi-Factor Authentication Guidance [Электрон. ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <http://datariskgovernance.com/risk-assessment/multi-factor-authentication-in-banking>.
3. Information Security: журн. — 2011. — № 5. [Электрон. ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.itsec.ru/articles2/Oborandteh/bydyshee-ayntifikacii-tokenam-konec>

СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

УДК 656.61.052: 621.396.6: 530.1

Д. А. Голубцов,
аспирант,
СПГУВК;

А. М. Тихоненко,
аспирант,
СПГУВК

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЗАИМНЫХ ПОМЕХ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ И ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

THE ANALYSIS OF THE MUTUAL INTERFERENCES INFLUENCE IN AUTOMATIC AND IDENTIFICATION SYSTEMS

Целью данной работы является анализ одного из наиболее тяжелых случаев для электромагнитной защищенности АИС, который имеет место при замирающих как полезном цифровом сигнале, так и сосредоточенной помехе.

The purpose of this work is the analysis of the most hard case of electromagnetic protection of AIS, which can take place during dying either useful digital signal or concentrated interference.

Ключевые слова: электромагнитная защищенность, автоматизированные идентификационные системы, сосредоточенная помеха.

Key words: electromagnetic protection, automatic identification systems, concentrated interference.

ПРИМЕНЕНИЕ на внутренних водных путях Российской Федерации сети базовых станций АИС, составляющих неотъемлемую часть систем управления движением судов — Корпоративной речной информационной системы, обеспечивает высокую степень безопасности, мониторинга и динамики управления движением судов. Вместе с тем эффективность работы АИС, как класса АИС-1, так и класса АИС-2, существенно определяется верностью приема цифровых сообщений в их информационных каналах.

На последнюю наряду с флюктуационным шумом существенное влияние оказывают взаимные, или сосредоточенные по спектру, помехи, причиной которых в основном являются соседние работающие радиостанции в диапазоне речных АИС 155–160 МГц. Такие помехи, как отмечалось, могут значительно снизить дальность связи на линии «судовой транспондер–базовая станция» (СТ–БС).

Будем полагать, что имеет место некогерентный прием ЧТ сигналов, имеющих по существу неперекрывающиеся спектры. Тогда вероятность ошибки поэлементного приема цифрового сообщения определяется соотношением

$$P_{i0} = \frac{1}{2} \exp\left[-\frac{h^2}{2}(1+g_r^2)\right] \cdot I_0(h^2 g_r) + \frac{1}{2} [1 - Q(h_i h g_r)], \quad r = 1; 2, \quad (1)$$

$$\text{где } g_r^2 = \frac{h_n^2}{h^2} \left(\frac{\sin \frac{\Omega_r T}{2}}{\Omega_r \frac{T}{2}} \right), \quad \Omega_r = |k_r \omega_0 - \omega_{II}|, \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad (2)$$

— коэффициент взаимного различия сигнала и помехи; ω_{Π} — несущая частота помехи; T — длительность элемента цифрового сигнала.

$$Q(h_i h_g r) = \int_{h_g}^{\infty} \chi \exp\left[-\frac{(\chi^2 + h^2)}{2}\right] \cdot I_0(hx) dx \quad (3)$$

где Q — функция Маркума; $I_0(\cdot)$ — модифицированная функция Бесселя первого рода, нулевого порядка;

$$h^2 = \frac{\mu P_u T}{v^2}, \quad h_{\Pi}^2 = \frac{\mu_{\Pi} P_{u\Pi} T}{v^2} \quad (4)$$

— отношения энергии принимаемого транспондером полезного сигнала и сосредоточенной помехи к v^2 спектральной плотности белого шума, которые можно представить в форме следующих энергетических характеристик:

$$h^2 = \mu \frac{\chi}{R^4}, \quad h_{\Pi}^2 = \mu_{\Pi} \frac{\chi_{\Pi}}{R_{\Pi}^4}, \quad (5)$$

где R и R_{Π} — расстояния от БС и передатчика помех до судового транспондера соответственно, а величины χ и χ_{Π} — энергетические параметры полезного сигнала и взаимной помехи, которые из (5) преобразуются к виду:

$$\chi = \frac{P_{\text{ш}} G_1 \eta_1 G_2 \eta_2 (h_1^2 + h_0^2)(h_2^2 + h_0^2)}{2P_{\text{нр min}}} \quad (6)$$

$$\chi_n = \frac{P_{\text{шн}} G_{1n} \eta_{1n} G_2 \eta_2 (h_{1n}^2 + h_0^2)(h_2^2 + h_0^2)}{2P_{\text{нр min}}}. \quad (7)$$

Здесь P_u — мощность передаваемого полезного сигнала в канале только с флюктуационным шумом; $P_{\text{ш}} = v^2 \cdot \frac{1}{T}$; v^2 — спектральная плотность флюктуационного шума, T — длительность

элементарной посылки («1» или «0»); h^1 и h^2 — высоты антенн БС и СТ; h_0^2 — некоторая поправка для сухой почвы, обычно около 5 м, G_1 и G_2 — коэффициенты усиления антенн БС и транспондера; η_1, η_2 — КПД антенно-фидерных трактов БС и СТ; G_{1n} — коэффициент усиления антенны источника помех; η_{1n} — КПД системы передачи энергии от передатчика помех к передающей антенне; $P_{\text{шн}}$ — мощность передатчика помех; h_{1n} — высота антенны передатчика помех; R_n — расстояние до источника помех; $g_{\text{ор}}^2$ — нормированный коэффициент взаимного различия. Всегда имеет место

$$\chi_{\Pi} = n \cdot \chi, \quad n \geq 0. \quad (8)$$

Подставляя, получим:

$$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \exp\left[-\frac{\chi}{2R^4} - \frac{\chi_n}{2R_n^4} \left(\frac{\sin^{\Omega_r T/2}}{\Omega_r T/2}\right)^2\right] \cdot I_0\left(\frac{\sqrt{\chi \chi_n}}{R R_n} \cdot \frac{\sin^{\Omega_r T/2}}{\Omega_r T/2}\right) - \frac{1}{2} Q\left(\sqrt{\frac{\chi}{R^4}}, \sqrt{\frac{\chi}{R^4} \frac{\sin^{\Omega_r T/2}}{\Omega_r T/2}}\right) \quad (9)$$

При $R \rightarrow \infty$ $P_{\text{ош}} = 1/2$, а при $R_{\Pi} \rightarrow \infty$ следует

$$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} \exp(-\chi / 2R^4) \quad (10)$$

то есть совпадает с выражением для канала БС–СТ без сосредоточенных помех.

Можно несколько упрощающе положить, что помеха синусоидальна на частоте Ω_r реализации сигнала.

Тогда

$$\frac{\sin \frac{\Omega_r T/2}{\Omega_r T/2}}{\Omega_r T/2} = 0,5 \quad (11)$$

Кроме того, будем полагать в (8)

$$n = 1, \quad (12)$$

что отражает достаточно тяжелую помеховую ситуацию воздействия «равномощностной» сигналу помехи.

Тогда, обозначая

$$\chi = \chi_{\Pi}, \quad (13)$$

представим

$$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{\chi}{2R^4} - \frac{\chi}{2R_n^4}\right) \cdot I_0\left(\frac{\chi}{R^2 R_n^2 \sqrt{2}}\right) - \frac{1}{2} Q\left(\frac{\chi^{1/2}}{R^2}; \frac{\chi^{1/2}}{R_n^2 \sqrt{2}}\right). \quad (14)$$

Учтем далее влияние на $P_{\text{ош}}$ случайного характера перемещения судового транспондера относительно базовой станции (и источника помех). При этом ограничимся весьма характерным для Северо-Западного региона водных путей рэлеевским законом плотности вероятности $W(R)$. В этом случае

$$W(R) = \frac{R}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma_0^2}\right), \quad R \geq 0, \quad (15)$$

$$W(R_n) = \frac{R_n}{\sigma_n^2} \exp\left(-\frac{R_n^2}{2\sigma_n^2}\right), \quad R_n \geq 0, \quad (16)$$

где

$$\sigma_c^2 = \frac{\pi}{8} R^2, \quad \sigma_g^2 = \frac{\pi}{8} R_n^2,$$

а усредненная вероятность ошибки равна:

$$P_{\text{ош}} = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} W(R)W(R_n)P_{\text{ош}}(R, R_n)dRdR_n. \quad (17)$$

Подставляя в соотношения, получим следующее окончательное выражение для вероятности ошибки

$$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} + \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{RR_n}{2\sigma_c^2 \sigma_n^2} \cdot I_0\left(\frac{\chi}{R^2 R_n^2 \sqrt{2}}\right) \exp\left(-\frac{\chi}{2R^4} - \frac{\chi}{2R_n^4} - \frac{R^2}{2\sigma_c^2} - \frac{R_n^2}{2\sigma_n^2}\right) dRdR_n - \\ - \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{RR_n}{2\sigma_c^2 \sigma_n^2} \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma_c^2} - \frac{R_n^2}{2\sigma_n^2}\right) \cdot Q\left(\frac{\chi^{1/2}}{R^2}; \frac{\chi^{1/2}}{R_n^2}\right) dRdR_n. \quad (18)$$

На рис. 1 и 2 представлены построенные по (18) зависимости вероятности ошибки $P_{\text{ош}}$ от энергетического параметра χ для $R = 4$ км (рис. 1) и $R = 8$ км (рис. 2) при расстояниях от мешающей станции 4 км (кривая 1), 8 км (кривая 2) и 16 км (кривая 3). На этих же рисунках пунктиром представлены построенные кривые вероятности ошибки в отсутствие сосредоточенных помех.

Как видно из рисунков, сосредоточенные помехи наносят существенный урон защищенности АИС. Так, для наиболее благоприятных случаев удаленного на 16 км источника помех (кривая 3) энергетический проигрыш системы составляет при $P_{\text{ош}} = 10^{-4}$ величину 4 дБ в первом случае и 9 дБ — во втором.

Электромагнитная защищенность АИС от сосредоточенных помех существенно зависит также от удаленности источника помех от судового транспондера по сравнению с удаленностью БС. При $R_{II} \leq R$ (кривая 1 на рис. 1 и кривые 1, 2 на рис. 2) система становится практически неработоспособной. При этом, конечно, отсутствует решение оптимизационного уравнения для радиуса действия базовой станции

$$R_c^{opt} = \arg \left[P_{ош} (R, R_n) \leq P_{треб} \right], \quad (19)$$

где $P_{треб}$ — требуемая вероятность ошибки в системе, например 10^{-4} .

Единственно возможным выходом в такой ситуации является поиск возможностей синтеза оптимальных и по помехоустойчивости, и по функциональной устойчивости структур АИС при воздействии сосредоточенных, и прежде всего взаимных, помех.

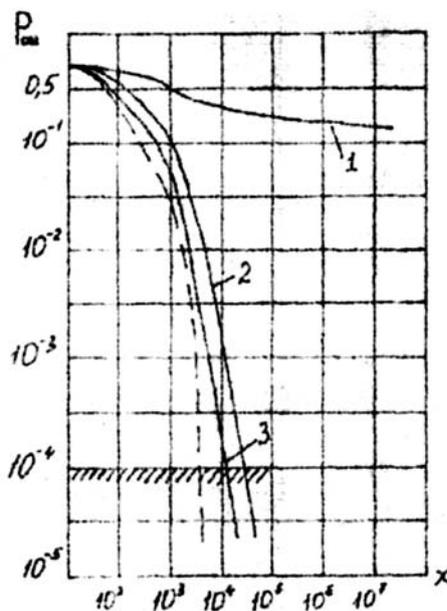


Рис. 1. Зависимость вероятности ошибки $P_{ош}$ от энергетического параметра χ для $R = 4$ км

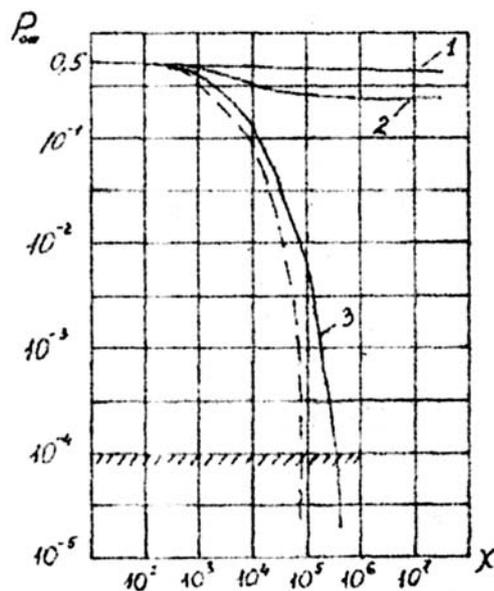


Рис. 2. Зависимость вероятности ошибки $P_{ош}$ от энергетического параметра χ для $R = 8$ км

Максимальная дальность зоны действия БС АИС определяется соотношением

$$R_{\max} = \arg[P_{\text{err}}(R) = P_{\text{reg}}], \quad (20)$$

где $P = 10^{-2} - 10^{-6}$ — требуемая вероятность ошибки при приеме цифровой двоичной единицы сообщения АИС; $P_{\text{ош}}(R_c)$ — вероятность ошибки приема в информационном канале АИС двоичной цифровой информации при расстоянии БС – СТ = R_c .

При воздействии помех решение может принимать следующие формы:

1. Замирающий по рэлеевскому закону сигнал — незамирающая помеха

$$P_{\text{reg}} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{h^2}{2+h^2} \exp\left(-\frac{h^2 g_r^2}{h^2+2}\right) \right], \quad r = 1, 2, \quad (21)$$

$$h^2 g_r^2 = h^2 \frac{h_{\Pi}^2}{h^2} g_{0r}^2 = h_{\Pi}^2 g_{0r}^2, \quad 0 \leq g_r^2 \leq \frac{h_{\Pi}^2}{h^2}, \quad 0 \leq g_{0r}^2 \leq 1,$$

$$P_{\text{reg}} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{\chi/R_c^4}{\chi/R_c^4+2} \exp\left(-\frac{\chi_{\Pi} g_{0r}^2/R_{\Pi}^2}{\chi/R_{\Pi}^4+2}\right) \right],$$

$$R_{\max} = \arg \left\{ P_{\text{reg}} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{\chi/R_c^4}{\chi/R_c^4+2} \exp\left(-\frac{\chi_{\Pi} g_{0r}^2/R_{\Pi}^2}{\chi/R_{\Pi}^4+2}\right) \right] \right\}. \quad (22)$$

2. Замирающий по рэлеевскому закону сигнал — замирающая помеха

$$P_{\text{reg}} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{h^2}{(h^2+2)} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{h g_r^2}{h^2+2}\right)} \right], \quad r = 1, 2, \quad (23)$$

$$P_{\text{reg}} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{h^2}{(h^2+2)} \cdot \frac{(h^2+2)}{(h^2+2+h_{\Pi}^2 g_{0r}^2)} \right],$$

$$P_{\text{reg}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{h^2}{2+h_{\Pi}^2 g_{0r}^2}},$$

$$\frac{1}{2P_{\text{reg}}} = 1 + \frac{h^2}{2+h_{\Pi}^2 g_{0r}^2},$$

$$R_c^4 \left(\frac{1}{2P_{\text{reg}}} - 1 \right) = \frac{h^2}{2+h_{\Pi}^2 g_{0r}^2},$$

$$R_{\max} = \left[\frac{\chi}{\left(\frac{1}{2P_{\text{reg}}} - 1 \right) \left(2 + \frac{\chi_{\Pi} g_{0r}^2}{R_{\Pi}^4} \right)} \right]^{1/4}. \quad (24)$$

При использовании выражения (24) для рассматриваемого случая можно построить семейство номограмм для разных соотношений P_u и P_{uII} с учетом номеров значений коэффициента взаимного различия g_{or}^2 , представленных в табл. 1.

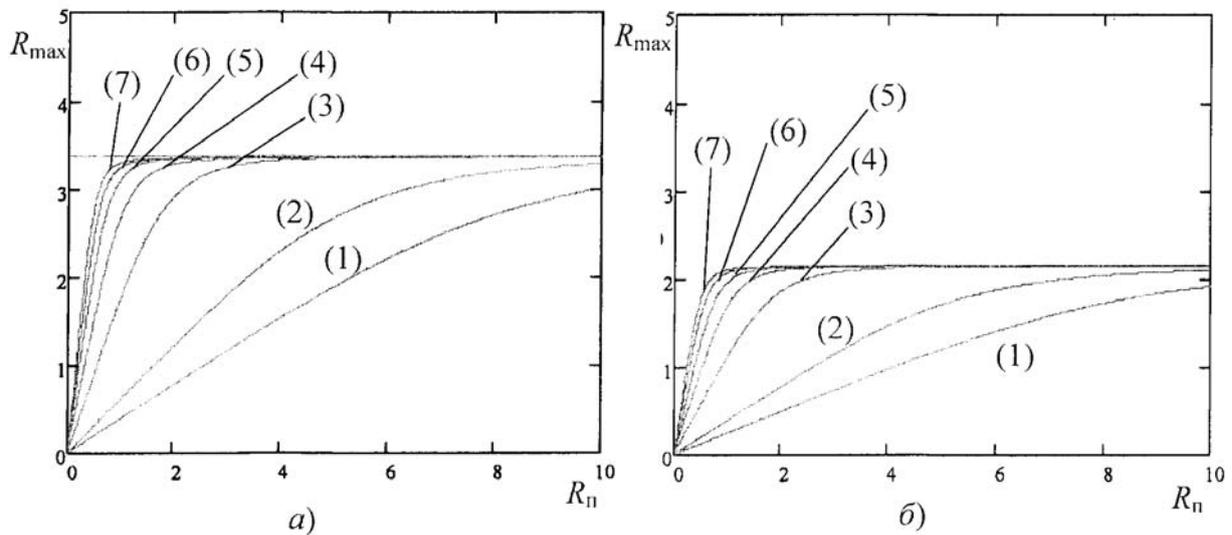


Рис. 3. Номограммы для различных максимумов g_{or}^2 :
а — для случая $P_u = 12$ Вт, $P_{uII} = 2$ Вт; б — $P_u = P_{uII} = 2$ Вт

Из значений четной неперидической функции $(\sin x/x)^2$ в табл. 1 выделены необходимые для расчетов значения нормированного коэффициента взаимного различия g_{or}^2 .

Выражения (22) и (24) обладают достаточной общностью и позволяют анализировать влияние на R_c различных классов взаимных помех, в том числе и таких, как различного рода побочные излучения, взаимные помехи одновременно работающих радиосредств, преднамеренные помехи, включая ретранслированные.

Таблица 1

Значения функции g_{or}^2

Ω_r	0	$\pi/2$	$3\pi/T$	$5\pi/T$	$7\pi/T$	$9\pi/T$	$11\pi/T$
№ кривой расчета	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
g_{or}^2	1	0,4053	0,0472	0,0165	0,00834	0,00503	0,00336

Как видно из рис. 3, вариации расстояния взаимной помехи от транспондера существенно влияют на размеры зоны БС. Так, например, в случае АИС-2 при $R_{II} = 5$ и 20 км радиус зоны составляет 7,61 и 30,43 км соответственно, а в случае АИС1 при тех же R_{II} радиус равен 4,81 и 19,25 км соответственно. Графики рисунка позволяют достаточно точно установить взаимную зависимость R_{bc}^{onm} от R_{II} .

Таким образом, в данной статье были проанализированы алгоритмы расчета и помехоустойчивость речных автоматизированных идентификационных систем при влиянии взаимных помех, а также было проведено исследование влияния сосредоточенных по спектру помех на размер рабочей зоны автоматизированных идентификационных систем.

Список литературы

1. Сикарев А. А. Оптимальный прием дискретных сообщений / А. А. Сикарев, А. И. Фалько. — М.: Связь, 1978.
2. Петухов Ю. В. Электромагнитная защищенность базовых станций речных автоматизированных информационных систем в условиях взаимных помех / Ю. В. Петухов, И. А. Сикарев // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. — № 2.
3. Сикарев И. А. Анализ электромагнитной защищенности АИС на ВВП при воздействии сосредоточенных помех / И. А. Сикарев // ТССиС на морских и ВВП: сб. науч. тр. — СПб.: СПГУВК, 2005. — Вып. 6.
4. Сикарев И. А. Помехоустойчивость и функциональная устойчивость автоматизированных идентификационных систем мониторинга и управления на речном транспорте / И. А. Сикарев. — СПб.: СПГУВК, 2010.

УДК 629.12.001

М. Э. Францев,
канд. техн. наук,
АО «Нептун-Судомонтаж»

ПРОЕКТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИК ВМЕСТИМОСТИ И ОБИТАЕМОСТИ СУДОВ
ИЗ КОМПОЗИТОВ

DESIGN DROUNDS OF THE RATIONAL PROVISION OF CAPACITY AND
HABITABILITY CHARACTERISTICS OF VESSELS MADE OF COMPOSITES

В статье излагаются принципы рационального обоснования характеристик вместимости и обитаемости, применяемые при проектировании современных судов из композиционных материалов. Рассмотрены основные составляющие вместимости. Приведены примеры параметрических способов определения величин для отдельных статей вместимости. Предложены способы определения удельной кубатуры пассажирских помещений и определения максимальной вместимости грузовых трюмов для промысловых судов суточного лова. Описан функциональный состав эксплуатационного качества — обитаемости.

The article outlines the principles of rational justification of capacity and habitability characteristics used in the design of modern ships made of composites. The main components of capacity are considered. There are the examples of methods for determining the parametric values for the items of capacity. In this article the method of determining the specific cubic capacity of passenger space and the method of determining the maximum capacity of the cargo holds of fishing vessels for the daily catch are also proposed. The functional structure of the operational quality — habitability is described.

Ключевые слова: проектирование, рациональное обоснование, вместимость, обитаемость, судно из композиционных материалов.

Key word: design, rational justification, capacity, habitability, vessel made of composites.



ОРМА малого судна образует неразрывное композиционное единство с организацией его внутреннего пространства. В большинстве случаев суда из композитов имеют многоуровневую ступенчатую компоновку, при которой помещения располагаются в корпусе

и надстройке. Машинное отделение или моторный отсек располагается на современных судах из композитов в кормовой части корпуса.

Современные принципы создания интерьеров судовых помещений предусматривают поливариантность использования внутренних объемов судна. В ряде случаев предусматривается создание на базе одного корпуса нескольких вариантов компоновок судовых помещений. Например, на базе одного корпуса могут быть созданы компоновка судна с открытой палубой и рубкой-убежищем, предназначенная для рыболовства, компоновка судна с открытой палубой и надстройкой для осуществления патрульных функций, а также компоновка судна с надстройкой, когда его палуба одновременно является крышей пассажирских помещений, расположенных в корпусе. В идеале, форма внешнего объема судна обосновывается его внутренней планировкой [4; 6, с. 91–94].

При проектировании подсистемы, объединяющей архитектурно-компоновочную схему судна, его вместимость и нагрузку масс рассматриваются следующие вопросы:

- определяются главные элементы и другие характеристики судна в виде фиксированных значений;
- разрабатываются архитектура и компоновка корпуса и верхних строений судна;
- определяется вместимость судна и проектируется общее расположение его объемов;
- разрабатывается нагрузка масс и определяется расположение масс в первом приближении;
- производится контроль положения центра масс по высоте с точки зрения обеспечения устойчивости и плавности качки;
- производится контроль положения центра масс по длине с точки зрения устойчивости движения судна;
- проектируется расположение основных помещений с точки зрения обитаемости, конструктивной противопожарной защиты и экологии;
- производится сравнение полученных результатов с проектными ограничениями и граничными условиями.

Проектное обоснование эксплуатационных качеств судна включает оценку его устойчивости, непотопляемости и мореходных качеств. При этом рассматриваются такие вопросы, как:

- расположение надводных объемов корпуса судна и его верхних строений, надводного борта и палубных колодцев с точки зрения устойчивости;
- проверка соответствия выбранным критериям устойчивости взаимного расположения объемов и масс по высоте, а также абсциссы и аппликаты центра масс и центра величины;
- оценка надводного борта, разделения на отсеки, расположения переборок и блоков плавучести с точки зрения непотопляемости;
- оценка метацентрической высоты с точки зрения плавности качки и резонансных курсовых углов;
- производится сравнение полученных результатов с проектными ограничениями и граничными условиями.

Оценка эксплуатационных качеств судна из композитов, связанных с его функциональным назначением, производится на этом уровне методом экспертных оценок.

Нижний уровень внутреннего проектирования судна из композиционных материалов включает проектирование подсистем судна, выделенных в результате декомпозиции по конструктивному признаку, в первую очередь подсистемы «Корпус из композиционных материалов» [1; 2; 6; 7–9].

В аналитическом виде проектное обоснование рационального обеспечения характеристик вместимости и обитаемости судов из композитов может быть представлено следующим образом.

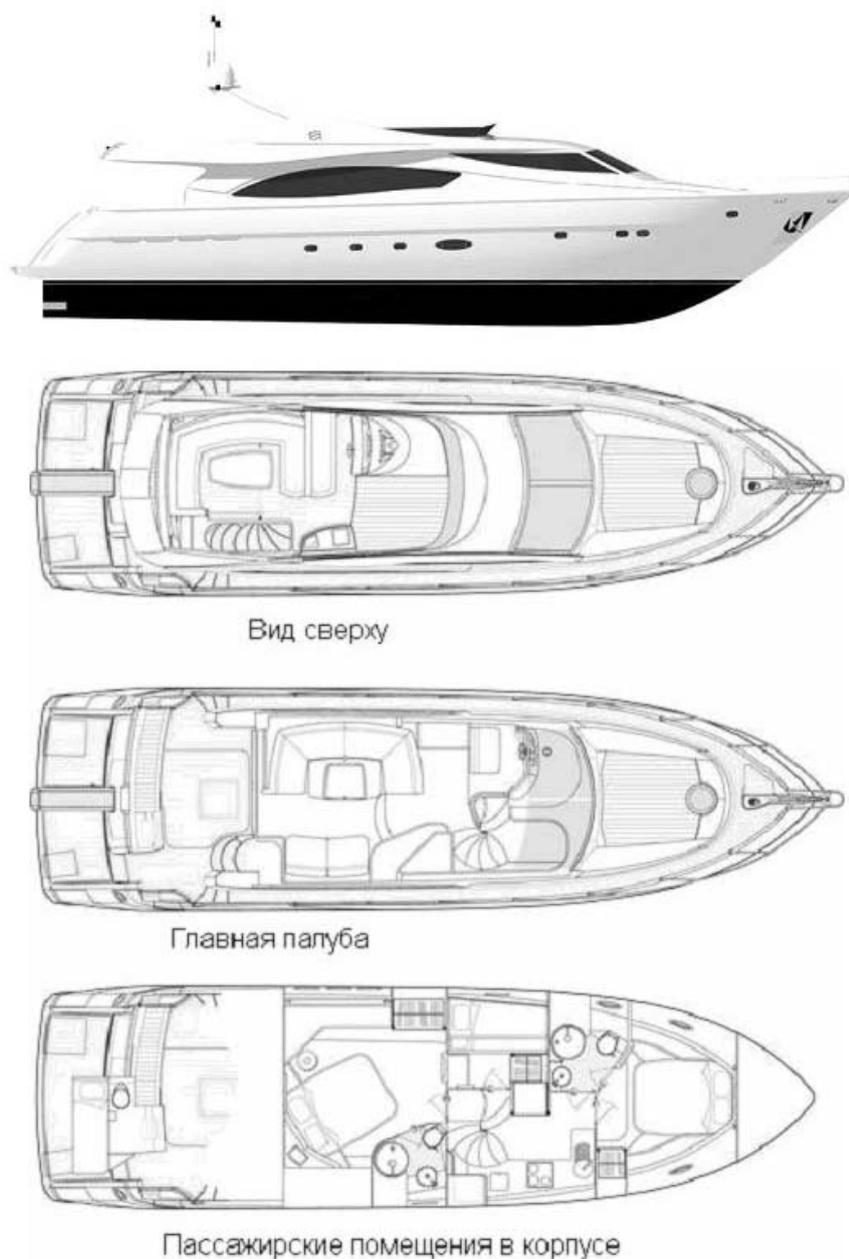


Рис. 1. Трехуровневая компоновка современного судна из композитов.
Общий вид со снятой крышей надстройки и планы палуб

Уравнение объемов для обеспечения проектируемому судну из композиционных материалов необходимой вместимости рассматривается в трактовке В. Л. Поздюнина в виде

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad (1)$$

где $\sum W_i$ — сумма требуемых теоретических объемов всех помещений судна [3].

Примерный перечень объемов помещений судов из композиционных материалов включает каюты, общественные и санитарно-бытовые помещения, а также посты управления, машинное отделение или моторный отсек, отсеки топливных баков, блоки плавучести, объемы термозвукоизоляции (см. рис. 1). В развернутом виде уравнение объемов имеет вид

$$W = \sum_{i=1}^n W_i = n_{\text{пас}}(w_k + w_o + w_c) + W_{\text{мо}} + W_{\text{пу}} + W_{\text{топл}} + W_{\text{БП}} + W_{\text{из}} + W_{\text{вода}} + W_{\text{рез}}, \quad (2)$$

где $n_{\text{пас}}$ — число пассажиров и членов экипажа на борту;
 w_k — удельный объем кают;
 w_o — удельный объем общественных помещений;
 w_c — удельный объем санитарно-бытовых помещений;
 $W_{\text{мо}}$ — объем машинного отделения или моторного отсека;
 $W_{\text{пу}}$ — объем постов управления;
 $W_{\text{топл}}$ — объем топливных баков;
 $W_{\text{БП}}$ — объем блоков плавучести;
 $W_{\text{из}}$ — объем термозвукоизоляции;
 $W_{\text{вода}}$ — объем водяных баков;
 $W_{\text{рез}}$ — резервный объем.

Резервный объем $W_{\text{рез}}$ определяется как параметр, величина которого зависит от наличия близкого прототипа, опыта разработчика в проектировании судов подобного типа, тщательности разработки технического задания и других подобных факторов. При тщательном анализе достаточно большого количества близких прототипов величиной резервного объема можно пренебречь, заменив его рядом максимальных значений коэффициентов пропорциональности при отдельных слагаемых в уравнении объемов.

Специфика малых судов из композиционных материалов заключается в том, что, как правило, нет возможности в полной мере выполнить требования нормативных документов (Санитарных правил и др.) по обеспечению необходимых площадей и объемов помещений, ввиду малости самого судна. В то же время на судах подобных типов и назначения широко применяются конструктивные решения, позволяющие трансформировать назначение отдельных помещений в зависимости от времени суток или цели использования. Так, салон может служить спальней с дополнительными спальными местами, пост управления может быть совмещен с салоном или каюткомпанией, а мостик — с прогулочной палубой. Анализ архитектурно-компоновочных решений близких прототипов дает возможность получения величины удельного объема кают, общественных и санитарно-бытовых помещений в расчете на одного человека, находящегося на борту. Аналогично может быть определен объем машинного отделения и поста управления. Это позволяет уменьшить количество слагаемых в уравнении объемов. Кроме того, ряд слагаемых может быть определен в виде приближенных зависимостей, полученных на основе обработки баз данных. С учетом изложенных соображений уравнение объемов приобретает вид

$$W = \sum_{i=1}^n W_i = n_{\text{пас}} w_{\text{пас}} + W_{\text{мо}} + W_{\text{топл}} + W_{\text{БП}} + W_{\text{вода}}. \quad (3)$$

Для промыслового судна из композиционных материалов однодневного лова этот перечень дополнится объемом грузового трюма, но при этом объем помещений для экипажа будет сильно уменьшен. С учетом изложенных соображений уравнение объемов для промыслового судна будет иметь вид

$$W = \sum_{i=1}^n W_i = n_{\text{эк}} w_{\text{эк}} + W_{\text{мо}} + W_{\text{топл}} + W_{\text{БП}} + W_{\text{вода}} + W_{\text{груз}}. \quad (4)$$

Основа, определяющая конструктивные особенности судна из композиционных материалов, должна выполнять поставленные задачи. Это позволяет определить количество и мощность главных двигателей, дальность плавания, район плавания, мореходные качества, срок автономности по запасам топлива и питьевой воды и т. п. Исходя из этих соображений и определяются объемы

машинного отделения, объемы для размещения топливных цистерн, объемы для размещения водяных цистерн, объем блоков плавучести и т. д.

Объем машинного отделения или моторного отсека может быть определен как

$$W_{\text{мо}} = k_{\text{гд}} V_{\text{гд}} n_{\text{гд}} + k_{\text{об}} V_{\text{об}}, \quad (5)$$

где $k_{\text{гд}}$ — коэффициент, учитывающий потребные дополнительные объемы на зоны обслуживания главных двигателей;

$V_{\text{гд}}$ — объем главного двигателя наибольшей мощности, планируемого к установке;

$n_{\text{гд}}$ — максимально возможное количество главных двигателей;

$k_{\text{об}}$ — коэффициент, учитывающий потребные дополнительные объемы на зоны обслуживания дополнительного оборудования МО;

$V_{\text{об}}$ — объем дополнительного оборудования МО.

Анализ баз данных двигателей различной мощности и типовых компоновок моторных отсеков или машинных отделений позволяет получить достаточно работоспособные зависимости типа

$$W_{\text{мо}} = k_{\text{мо}} N, \quad (6)$$

где N — мощность главных двигателей.

Объем постов управления $W_{\text{пу}}$ может быть определен по данным статистики с учетом современных требований эргономики и антропометрических данных. На большинстве современных судов из композиционных материалов посты управления komponуются по принципам, заимствованным в автомобилестроении и, как правило, совмещаются с общественными помещениями. Поэтому необходимости в отдельном учете их объемов нет.

Изменение массы топлива по интервалу базовой длины

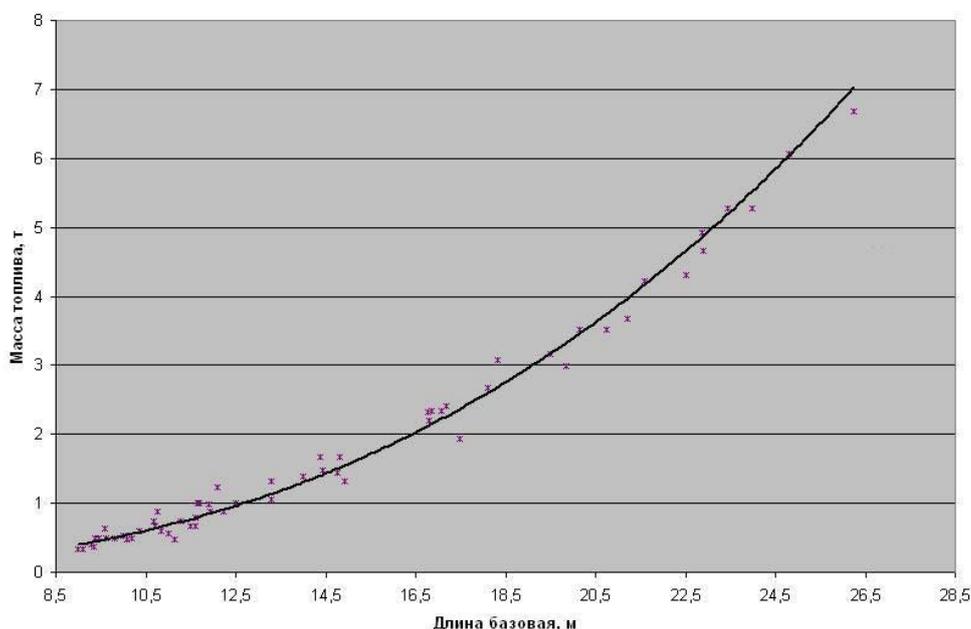


Рис. 2. Формула массы топлива по интервалу базовой длины

У современных судов из композиционных материалов топливные и водяные баки являются вкладными, поэтому вместимость объемов для их размещения определяется по формуле

$$W_{\text{топл}} = (k_{\text{тб}} N T q) / \rho_{\text{топл}} = k_{\text{тб}} P_{\text{топл}} / \rho_{\text{топл}}, \quad (7)$$

где $k_{то}$ — коэффициент, учитывающий увеличение объема топливного бака на конструкции его крепления (ложементы и др.), мертвую кладку, незаполняемый объем;

N — мощность главных двигателей;

q — удельный расход топлива на один двигатель;

T — срок автономности по запасам топлива;

$P_{топл}$ — запас топлива;

$\rho_{топл}$ — плотность топлива при максимально допустимой температуре [7; 9].

$$W_{вода} = k_{вб} n_{пас} \nu T_{в} = k_{вб} P_{вода}, \quad (8)$$

где $k_{вб}$ — коэффициент, учитывающий увеличение объема водяного бака на конструкции его крепления (ложементы и др.), мертвую кладку, незаполняемый объем;

ν — нормируемый расход воды;

$T_{в}$ — срок автономности по запасам питьевой воды;

$P_{вода}$ — запас питьевой воды.

Изменение массы воды по интервалу базовой длины

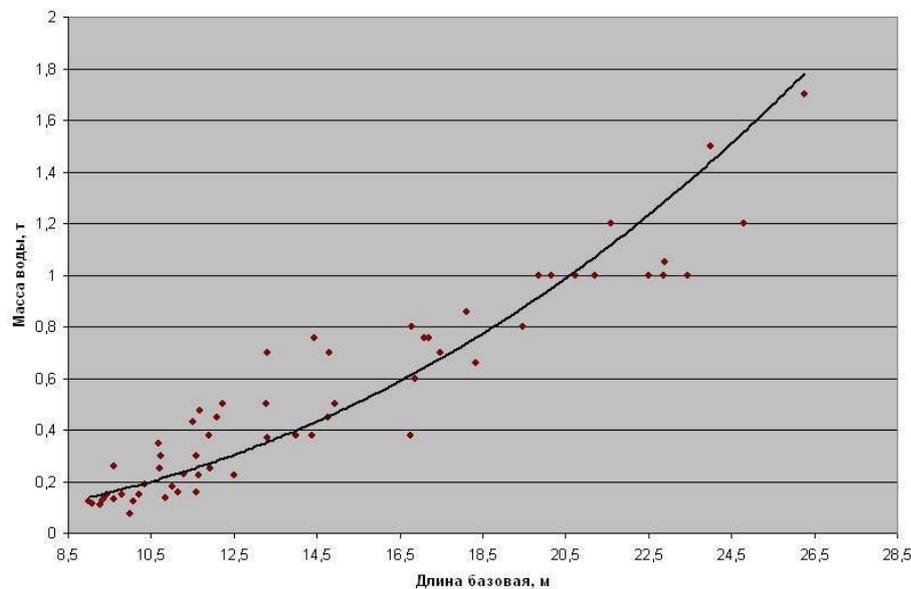


Рис. 3. Формула массы воды по интервалу базовой длины

Величина запаса топлива и воды может быть принята на начальном этапе по результатам анализа соответствующих баз данных (см. рис. 2 и 3). Например, запас топлива и запас питьевой воды для судов из композиционных материалов с доминирующими подсистемами, обеспечивающими повышенные характеристики ходкости, могут быть определены по формулам [5, с. 37–46]:

$$P_{топл} = 0,0011 L^{* 2,6795}, \quad (9)$$

$$P_{вода} = 0,0007 L^{* 2,3825}. \quad (10)$$

Объем блоков плавучести определяется в том случае, если в соответствии с принятой компоновкой не может быть выполнено требование об обеспечении непотопляемости при затоплении одного или нескольких отсеков. В этом случае по требованиям нормативных документов должна быть обеспечена непотопляемость при заполнении водой всего корпуса с сохранением аварийной устойчивости и нахождением на борту экипажа и пассажиров. В этом случае формула будет иметь следующий вид:

$$W_{\text{БП}} = k_{\text{БП}} D / \gamma, \quad (11)$$

где $k_{\text{БП}}$ — коэффициент, учитывающий уменьшение внутреннего объема судна при затоплении;
 D — полное водоизмещение судна;
 γ — удельный вес воды;
 Объем термовздуоизоляции помещений судна может быть определен как:

$$W_{\text{из}} = \sum_{i=1}^n S_i t_i, \quad (12)$$

где S_i — площадь изолируемых поверхностей;
 t_i — толщина пакета изоляции на площади [6; 7].

При определении толщины пакета изоляции учитывается характер фактора, от которого производится защита (звук, вибрация, высокая или низкая температура), а также предполагаемый тип изоляционного материала. На современных судах из композиционных материалов термовздуоизоляция выполняется из материалов, аналогичных блокам плавучести (вспененные структуры) и поэтому может быть учтена в их составе.

В соответствии с [1] полная теоретическая вместимость судна из композитов определяется как:

$$W = V + W_{\text{в}} + W_{\text{р}}, \quad (13)$$

где W — полная вместимость судна;
 V — объемное водоизмещение;
 $W_{\text{в}}$ — вместимость корпуса выше КВЛ;
 $W_{\text{р}}$ — вместимость рубки и других верхних строений.
 В. В. Ашиком предложено уравнение вместимости с учетом коэффициента развития надстроек и рубок [1]:

$$W = (1 + \omega_{\text{р}}) V [1 + \alpha / \delta (H / T - 1) (1 + k_{\text{в}})], \quad (14)$$

где $\omega_{\text{р}} = W_{\text{р}} / W_{\text{в}}$ — коэффициент развития верхних строений;
 $k_{\text{в}}$ — коэффициент полноты объемов.

Анализ вместимости может быть произведен с использованием данных о габаритных размерах и формах корпуса и надстройки с использованием архитектурно-компоновочной схемы судна. Для упрощения задачи считаем, что относительный объем, занимаемый набором в корпусе и надстройке, одинаков. Тогда уравнение вместимости также может быть представлено в виде

$$W = b [\delta_{\text{к}} L_{\text{габ}} B_{\text{габ}} H + \delta_{\text{н}} L_{\text{н}} B_{\text{н}} H_{\text{н}}], \quad (15)$$

где $L_{\text{габ}}, B_{\text{габ}}$ — габаритная длина и ширина корпуса;
 H — высота борта;
 $L_{\text{н}}, B_{\text{н}}$ — габаритная длина и ширина надстройки;
 $H_{\text{н}}$ — высота надстройки;
 $\delta_{\text{к}}, \delta_{\text{н}}$ — коэффициенты полноты формы корпуса и надстройки;
 b — коэффициент, позволяющий учесть объем набора в объеме композитного корпуса и надстройки.

После произведенных преобразований получаем уравнение вместимости, связывающее главные размерения, нагрузку масс и габаритные размеры судна из композиционных материалов:

$$W = \delta L B T \left(1 + \frac{\delta_{\text{н}} L_{\text{н}} B_{\text{н}} H_{\text{н}}}{\delta_{\text{к}} L_{\text{габ}} B_{\text{габ}} H} \right) [1 + \alpha / \delta (H / T - 1) (1 + k_{\text{в}})]. \quad (16)$$

Приравняв уравнения вместимости, получим

$$\begin{aligned} \delta LBT \left(1 + \frac{\delta_n L_n B_n H_n}{\delta_k L_{габ} B_{габ} H}\right) [1 + \alpha / \delta(H/T - 1)(1 + k_b)] = \\ = n_{пасс} w_{пасс} + W_{мо} + W_{топл} + W_{БП} + W_{вода}. \end{aligned} \quad (17)$$

Выразив отдельные слагаемые через элементы нагрузки масс, можно, например, получить выражение для расчета удельной кубатуры пассажирских помещений для судов-прототипов из композиционных материалов с доминирующими подсистемами, обеспечивающими повышенные характеристики ходкости:

$$\begin{aligned} w_{пасс} = \frac{1}{n_{пасс}} \left\{ \delta LBT \left(1 + \frac{\delta_n L_n B_n H_n}{\delta_k L_{габ} B_{габ} H}\right) [1 + \right. \\ \left. + \alpha / \delta(H/T - 1)(1 + k_b)] - (k_{мо} N + k_{тб} \frac{P_{топл}}{\rho_{топл}} + \right. \\ \left. + k_{БП} \delta LBT + k_{вб} P_{воды}) \right\}. \end{aligned} \quad (18)$$

Используя это уравнение, можно определить максимально возможную вместимость грузовых трюмов промыслового судна суточного лова из композиционных материалов, которую можно получить на судне с наперед заданными размерами:

$$\begin{aligned} W_{груз} = \delta LBT \left(1 + \frac{\delta_n L_n B_n H_n}{\delta_k L_{габ} B_{габ} H}\right) [1 + \alpha / \delta(H/T - 1)(1 + k_b)] - \\ - (n_{эк} w_{эк} + k_{мо} N + k_{тб} \frac{P_{топл}}{\rho_{топл}} + k_{БП} \frac{D}{\gamma} + k_{вб} P_{воды}), \end{aligned} \quad (19)$$

где $n_{эк}$ — численность экипажа;

$w_{эк}$ — удельный объем помещений, приходящийся на одного члена экипажа.

Для современных судов из композиционных материалов с доминирующими подсистемами, обеспечивающими повышенные характеристики ходкости, весьма важным показателем качества проекта являются характеристики обитаемости. В соответствии с принципами, сформулированными А. Н. Крыловым, оценка значения критериального показателя качества судна (корабля) заключается в сравнении характеристик двух оцениваемых вариантов проекта или проекта и прототипа. Оценка значения критериального показателя качества судна в такой области эксплуатационных характеристик, как обитаемость, может производиться путем сравнения с нормативами, установленными нормативными документами (Санитарными правилами и др.)

Функциональный состав эксплуатационного качества «Обитаемость» может быть представлен в виде функции ψ , определяемой совокупностью факторов, характеризующих благоприятные условия пребывания людей на судне:

$$\psi = \sum_{i=1}^n a_i \frac{\Psi_i}{[\Psi_i]}, \quad (20)$$

где a_i — долевой коэффициент или коэффициент весомости i -го элемента обитаемости, Ψ_i — локальная функция, определяющая уровень составной части обитаемости.

При этом должно выполняться условие:

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1. \quad (21)$$

Локальными функциями, характеризующими обитаемость, являются отдельные функциональные качества:

— Ψ_1 — обеспечение качества воды и сохранение провизии;

— Ψ_2 — удельный объем и площадь, приходящиеся на одного человека (по категориям), состав каютного оборудования;

— Ψ_3 — характеристики системы обеспечения вентиляции, отопления, кондиционирования воздуха;

— Ψ_4 — эргономические характеристики, обеспечивающие удобство использования и обслуживания судового оборудования, приборов, систем;

— Ψ_5 — эстетико-психологические параметры интерьера жилых и общественных помещений;

— Ψ_6 — изолированность от шума и вибрации;

— Ψ_7 — минимизация вибрации;

— Ψ_8 — показатели плавности качки [10].

Как было сказано выше, в настоящее время нормативы, приведенные в соответствующих документах, не могут быть в полной мере использованы при проектировании судна из композиционных материалов. Поэтому в современном малотоннажном судостроении из композиционных материалов в качестве объекта сравнения чаще всего выступает не конкретное судно-прототип, а группа судов, обладающая достаточно близкими главными размерениями, полной массой, мощностью, эксплуатационными характеристиками и находящаяся в сопоставимом ценовом диапазоне для обеспечения конкурентоспособности проектных решений. В этом случае проектный анализ заключается в сравнении предполагаемых характеристик проектируемого судна с их осредненным значением по группе судов — претендентов.

Изложенным выше способом может быть выполнено проектное обоснование рационального обеспечения характеристик вместимости и обитаемости судов из композитов.

Список литературы

1. Ашик В. В. Проектирование судов / В. В. Ашик. — Л.: Судостроение, 1985. — 486 с.
2. Пашин В. М. Оптимизация судов / В. М. Пашин. — Л.: Судостроение, 1983. — 286 с.
3. Поздюнин В. Л. Теория проектирования судов / В. Л. Поздюнин. — Л.: Изд-во ЛКИ, 1938. — Ч. 1; 1939. — Ч. 2.
4. Современные катера и яхты 2004/2005. — М.: Премьера, 2004. — 478 с.
5. Францев М. Э. Способ проектного обоснования главных элементов и других характеристик судов из композиционных материалов при помощи анализа баз данных / М. Э. Францев // Вестник Астраханского государственного технического университета. — 2011. — № 3.
6. Францев М. Э. Классификация и проектные особенности создания форм и архитектурно-компоновочных схем современных судов из композиционных материалов с учетом их функционального назначения / М. Э. Францев // Речной транспорт (XXI век). — 2010. — № 6
7. Царев Б. А. Введение в художественное конструирование судов / Б. А. Царев. — Л.: ЛКИ, 1973. — 89 с.
8. Царев Б. А. Модульные задачи в проектировании судов / Б. А. Царев. — Л.: ЛКИ, 1978. — 96 с.
9. Царев Б. А. Оптимизационное проектирование скоростных судов / Б. А. Царев. — Л.: ЛКИ, 1988. — 102 с.
10. Юдкина Ю. В. Проектный выбор характеристик малых судов и катеров с учетом требований обитаемости: метод. указ. / Ю. В. Юдкина; СПбГМТУ. — СПб., 2009. — 35 с.

А. И. Зайцев,
канд. техн. наук,
СПГУВК;

С. В. Рудых
канд. техн. наук,
СПГУВК;

А. А. Сикарев,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ МАЛОМЕРНОГО ФЛОТА НА МОРСКИХ АКВАТОРИЯХ (НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ)

PROSPECTS OF INTRODUCTION OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF MOVEMENT OF SMALL SIZE FLEET ON SEA WATER AREAS (ON EXAMPLE OF THE BLACK SEA COAST OF RUSSIA)

Вопросы безопасности мореплавания, повышения эффективности водного транспорта, охраны гидросооружений и акваторий портов и терминалов от угрозы террористических атак, а также максимальной экологической безопасности остро стоят во всем мире. В настоящей статье анализируется необходимость внедрения АСУ ДМФ на Черноморском побережье Северного Кавказа.

Issues of safety navigation, increase of efficiency of a water transport, protection of hydro constructions and water areas of ports and terminals from threat of terrorist attacks, and also the maximum ecological safety stand sharply all over the world. In the present article necessity of introduction of "Automated control system of movement of small size fleet" at the Black Sea coast of the North Caucasus is analyzed.

*Ключевые слова: АСУ ДМФ, СУДС, АИС, маломерный флот.
Key words: ACS MSF, VTS, AIS, small size fleet.*

ОДНИМ из лидеров в области внедрения систем морской безопасности, управления движением судов, оборудования антикризисных центров, а также охраны водной акватории является порт Новороссийск. Это один из крупнейших российских транспортных объектов, располагается в Цемесской бухте Черного моря у северной части Кавказского побережья. Бухта образована Суджукской косой и мысом Дооб (рис. 1). Ее длина 8 миль, ширина у входа 5 миль, в средней части 2,5 мили.

Для повышения безопасности мореплавания вдоль кавказского побережья Черного моря в порту Новороссийск установлена система управления движением судов (СУДС). Система сертифицирована Министерством транспорта РФ на соответствие требованиям, предъявляемым к СУДС высшей категории. Зона действия СУДС порта Новороссийск показана на рис. 2.

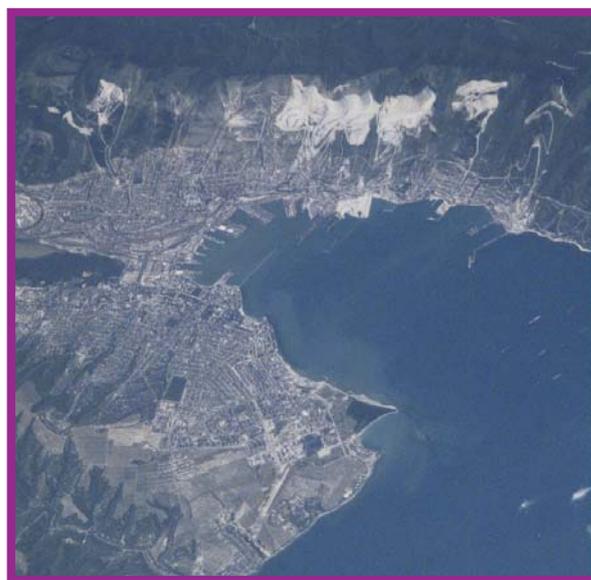


Рис. 1. Цемесская бухта

В состав комплекса СУДС порта Новороссийск входит программное обеспечение, аппаратные средства, дублированные береговые радары, радарные процессоры, радиорелейное оборудование для связи с удаленными радиотехническими постами, АИС, система видеонаблюдения, сетевое и каналообразующее оборудование.

Установленная система документирования и регистрации радарного видео, треков целей, сигналов тревоги, системных сообщений позволяет синхронно с радиопереговорами вести запись информации для дальнейшего анализа сложных ситуаций на море и предъявления обоснованных претензий виновной стороне в случае аварийных ситуаций.

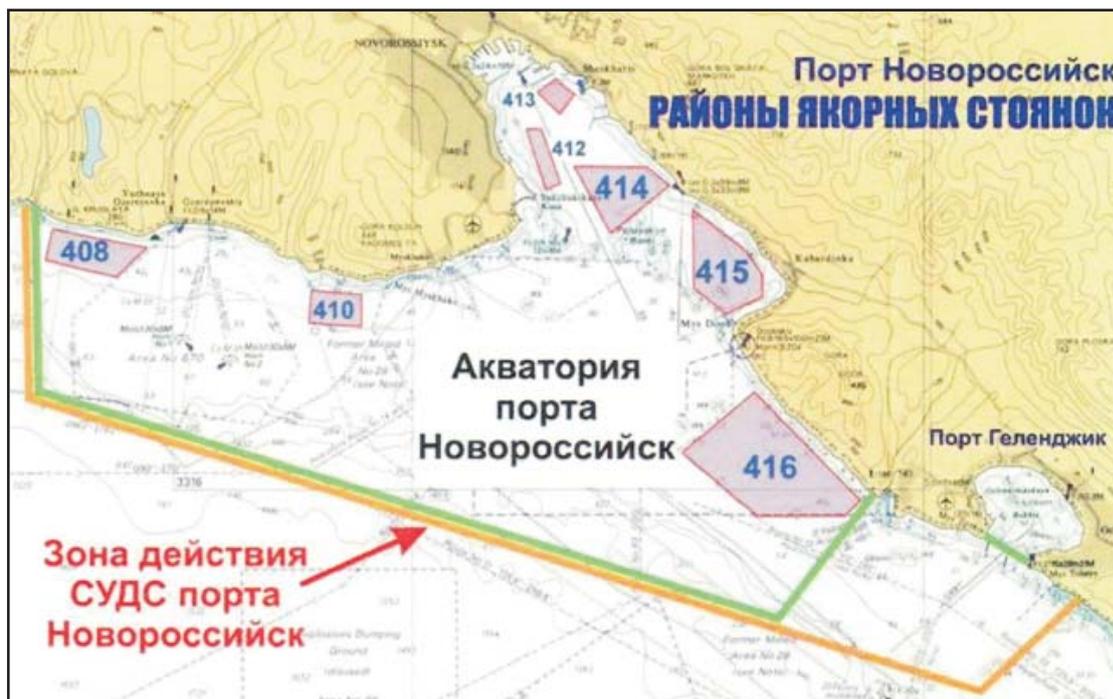


Рис. 2. Зона действия СУДС порта Новороссийск

Каждый из постов оборудован дублированной радиолокационной станцией с 18-футовой антенной (рис. 3), программно управляемой ТВ-камерой СУДС, радиорелейным и сетевым оборудованием, аппаратным контейнером с подсистемами жизнеобеспечения и подсистемой дистанционного мониторинга технологического оборудования. Камеры, установленные на постах в составе оборудования СУДС, расширили зону видеонаблюдения. Центр СУДС оснащен системой защиты информации от несанкционированного доступа и сервером экспорта данных СУДС для сторонних клиентов. Радиолокационные станции автоматически обнаруживают цели за 15–20 миль до подхода к порту. Компьютерное устройство системы высчитывает их скорость и направление движения (эти параметры отображаются на экране дисплея и цифровом табло центра СУДС), далее автоматически производится вычисление пеленга, дистанции до любой точки от этой цели, географические координаты судна. Подобный расчет может производиться для 200 целей одновременно. В случае если параметры цели показывают развитие аварийной ситуации, компьютер предупредит оператора об этом заблаговременно и покажет, в какой точке и через какое время это может произойти. Затем эта информация передается судам, находящимся в зоне СУДС.

Кроме этого, СУДС помогает решать многие основные функции, возложенные действующими нормативно-правовыми актами на администрации морских портов (АМП), такие как организация спасения людей и судов в границах акваторий морских портов; предупреждение чрезвычайных ситуаций в морских портах и участие в организации работ по ликвидации последствий таких ситуаций; обеспечение контроля за перемещением судов и плавсредств на акваториях морских

портов и за соблюдением режима плавания в районах с особым режимом плавания или запретных для плавания, а также ряд других функций, неразрывно связанных с необходимостью иметь возможность быстро и достоверно определять местоположение объектов, находящихся в чрезвычайной ситуации на море, или сил и средств, привлекаемых к оказанию им помощи.



Рис. 3. СУДС порта Новороссийск

Отметим, что в соответствии с международными конвенциями основная часть флота оборудована различными системами позиционирования и контроля местоположения. Крупные порты оборудованы системами управления движением судов посредством радиолокационного слежения и системами АИС. Однако есть группы судов, не подпадающих под действия регламентирующих документов. Во-первых, это суда портового флота: буксиры, рейдовые катера, плавкраны, баржи, снабженцы, завозчики, нефтемусоросборщики, водолазные катера и прочий флот. Во-вторых, весь маломерный флот остается за рамками действия настоящих правил и «выпадает» из общей схемы слежения за перемещением судов и контроля над ними. Только по порту Анапа и пункту Большой Утриш за 2010 г. маломерных судов, перевозящих пассажиров, зарегистрировано более 30 единиц (перевозится около 70 тыс. пассажиров в год), по порту Геленджик — до 60 пассажирских судов (перевозится около 170 тыс. пассажиров в год).

В октябре 2011 г. в Новороссийске открылся комплекс по обслуживанию, ремонту, зимнему хранению коммерческих и частных судов, яхт и катамаранов «Алексино порт Марина» (рис. 4). Технические и производственные мощности комплекса позволяют производить подъем судов водоизмещением до 160 т и длиной до 35 м. Дополнительно в защищенной акватории комплекса возможен временный отстой судов портового флота для смены экипажей, пополнения запасов судового снабжения, воды. Учитывая географическое расположение комплекса, работы по обслуживанию и ремонту судов, парусных и моторных яхт, катамаранов фактически можно производить круглый год, тем самым обеспечивая бесперебойную эксплуатацию судов портового флота, базирующихся в Азово-Черноморском бассейне.

Кроме того, в летнее время в акватории Цемесской бухты с различной периодичностью курсируют около 5 тыс. частных катеров, яхт и других плавсредств.

Следует учесть, что из-за изменений в законодательстве РФ о морских судах и возможности

захода круизных лайнеров в наши порты в Краснодарском крае начнет активно развиваться яхтенный туризм. В настоящее время обсуждается возможность за короткое время создать в крае морскую инфраструктуру.



Рис. 4. Место расположения «Алексино порт Марина»

В условиях интенсивного движения с участием маломерных судов по ряду чисто технических причин и эксплуатационных ограничений существующих систем доступная точность портовой инфраструктуры не позволяет своевременно реагировать на вводные данные. Конечно, активная экспансия системы высокоточного мониторинга на основе технологий ГЛОНАСС — это возможность в том числе и контроля движения маломерных судов на акваториях морских портов. Только за 2009 г. в зоне ответственности АМП Новоросийск на акваториях морских портов Новоросийск, Анапа, Геленджик зафиксировано более 30 нарушений различного характера, допущенных при плавании маломерного флота. В 670-м районе порта Новоросийск (морской нефтяной терминал), где установлены два выносных причальных супербуя, несмотря на действующие ограничения плавания и выделение специального коридора, зафиксированы десятки случаев несанкционированного захода прогулочных яхт и катеров с опасным приближением к технологическому оборудованию. Имеют место случаи несанкционированного погружения (в том числе любительский дайвинг), заход малых рыболовецких судов на судоходные фарватеры и самовольная швартовка к плавучим средствам навигационного оборудования (СНО). Обозначенные проблемы требуют оперативного вмешательства. Задачи по обеспечению безопасности маломерного флота, внедрению спутниковой навигации, повышению эффективности управления движением маломерного флота, уровня безопасности перевозки пассажиров нашли отражение в Постановлении Правительства Российской Федерации от 25 августа 2008 г. № 641 «Об оснащении транспортных технических средств и систем аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS». В ФГУ

«АМП Новороссийск» ведется проработка вопросов безопасности плавания маломерных судов и их перспективных решений.

В данном случае эффективным и надежным средством обеспечения безопасности плавания маломерных судов вполне может стать Автоматизированная система управления движением судов маломерного флота (АСУ ДМФ) (рис. 5). Приоритетная задача АСУ ДМФ — мониторинг малых судов и контроль за их перемещением.

АСУ ДМФ предоставляет достоверную и актуальную информацию о состоянии транспортных объектов в режиме реального времени, что повышает эффективность системы и процессов управления. АСУ ДМФ базируется на широких возможностях и может быть адаптирована под конкретные цели и задачи, масштабы и специфику транспортного процесса.

На основе технологической платформы АСУ ДМФ в порту Новороссийск можно реализовать аппаратно-программный комплекс тотального контроля водного пространства в пределах зоны действия системы как фундамента системы безопасности современного водно-транспортного комплекса.

Оператор информационно-диспетчерской службы (ИДС) на базе АСУ ДМФ может задействовать оптимальные ресурсы в каждой конкретной ситуации и эффективно контролировать как процессы судоходства, так и аварийные ситуации. Гибкость построения системы контроля за плаванием маломерных судов на основе АСУ ДМФ позволяет интегрировать ее в любые существующие глобальные системы связи и передачи данных, совмещать с любым программным обеспечением, включая базы данных, и объектовым оборудованием.

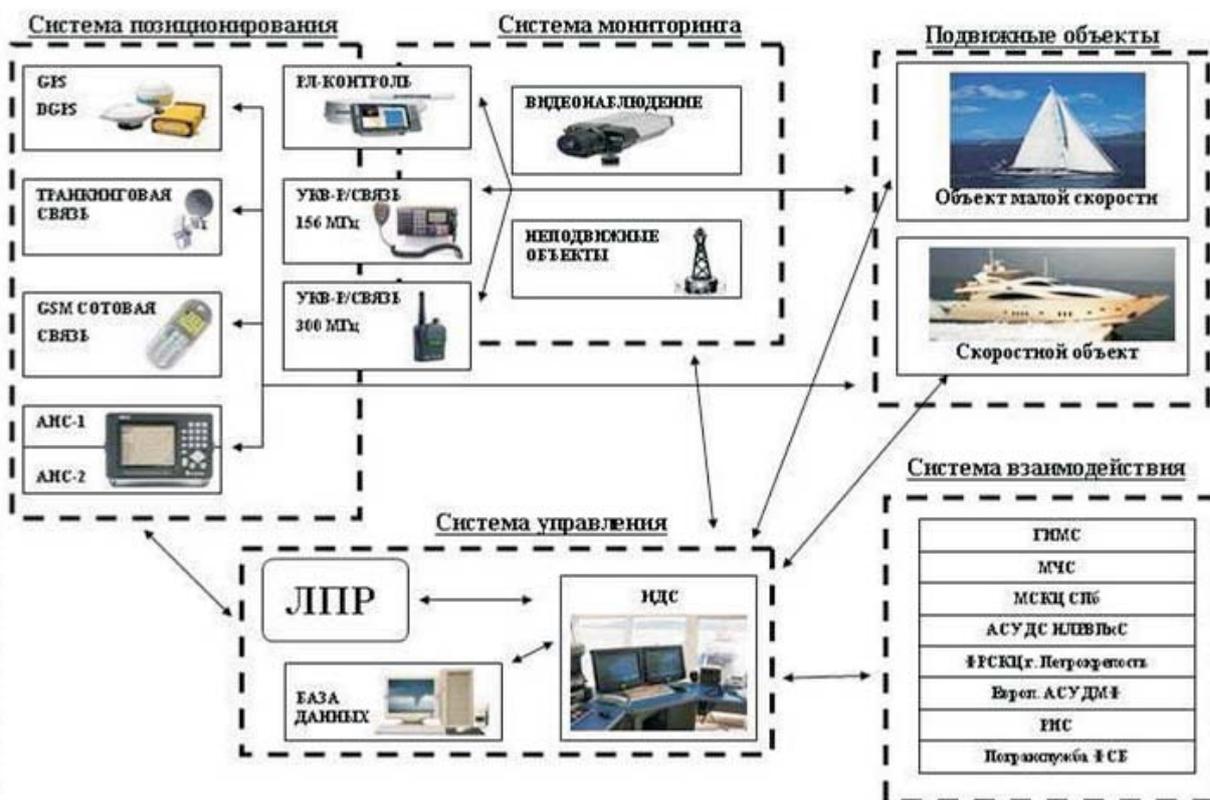


Рис. 5. Структурная схема АСУ ДМФ

Уже сейчас научно-технический прогресс в области средств навигации, связи и коммуникации позволяет прогнозировать мощное развитие инфокоммуникационных технологий, и в ближайшее время в АСУ ДМФ будут внедрены интеллектуальные сенсоры-камеры, радары и лазеры. С помощью подобных датчиков на современных катерах и яхтах будут работать адаптивные по-

луавтоматические системы контроля движения. В перспективе — взаимодействие с электронной картографией. В отличие от уже существующих систем, где плавсредства используют только собственные датчики, в АСУ ДМФ суда с необходимой дискретностью смогут обмениваться данными через центральную базу. В результате судоводители смогут представлять картину навигационной обстановки более полно. И как результат — повышение уровня безопасности плавания. Достаточно установить вдоль побережья и на островах сеть приемопередатчиков в составе Региональной АСУ ДМФ (РАСУ ДМФ). С их помощью тысячи маломерных судов узнают о прогнозах погоды, режимах и условиях плавания, приливах-отливах, изменениях в навигационной обстановке, наличии мест у причалов и на рейдовых стоянках.

Без сомнения, спутниковые системы, РЛС, УКВ, транкинговая связь и АИС являются катализаторами развития данных технологий. Основой любой из этих подсистем является ее математическое обеспечение для расчета зоны экспансии и радиуса дальности действия. Это помогает провести оптимизацию топологии построения АСУ ДМФ.

Для базовых станций АИС оптимальный радиус зоны действия базовой станции АИС находится из уравнения:

$$R_{\text{сред}}^{\text{опт}} = \arg [P_{\text{ош}}(R) \leq P_{\text{треб}}], \quad (1)$$

где $P_{\text{треб}} = 10^{-4}$ — требуемая вероятность ошибки.

При некогерентном приеме ЧМ сигналов выражение для полной вероятности ошибки элементарного приема имеет вид

$$P_{\text{ош}}(R) = \frac{1}{2} e^{-\frac{h^2(R)}{2}} = \frac{1}{2} e^{-\frac{\chi}{R^4}}, \quad (2)$$

$$\text{где } \chi = \frac{P_u G_u \eta_1 G_2 \eta_2 (h_1^2 + h_0^2)(h_2^2 + h_0^2) \lambda^2}{2P_{\text{пр min}}} \quad (3)$$

— энергетический параметр канала радиосвязи, $P_{\text{пр min}} = 10^{-12}$ (Вт) — чувствительность транспондера. Для (2) возможны два способа решения в (1) — графоаналитический и аналитический. Для последнего имеем соотношение, которое определяет потенциально допустимый радиус действия базовой станции (БС):

$$R_{\text{сред(км)}}^{\text{опт}} = \sqrt[4]{\frac{\chi}{|\ln 2 \cdot P_{\text{треб}}|}}. \quad (4)$$

Тогда, например, при высоте антенны БС $h^2 = 100$ м для $P = 10^{-3}$ и при высоте судовой антенны $h^1 = 5; 10; 15$ соответственно получаем

$R_{\text{сред}}^{\text{опт}}(1) = 82$ км; $R_{\text{сред}}^{\text{опт}}(2) = 95$ км; $R_{\text{сред}}^{\text{опт}}(3) = 107$ км. В морских единицах это будет 44; 52 и 58 миль, соответственно.

А при $h^2 = 200$ м, что для гор Северного Кавказа не является пределом, $P = 10^{-3}$ для $h^1 = 5; 10; 15$ (малый, средний и большой круги на рис. 6 соответственно) имеет решения:

$$R_{\text{сред}}^{\text{опт}}(1) = 54 \text{ мили}; R_{\text{сред}}^{\text{опт}}(2) = 69 \text{ миль}; R_{\text{сред}}^{\text{опт}}(3) = 83 \text{ мили}.$$

Для $P = 10^{-1}$ получим:

$$R_{\text{сред}}^{\text{опт}}(1) = 80 \text{ миль}; R_{\text{сред}}^{\text{опт}}(2) = 100 \text{ миль}; R_{\text{сред}}^{\text{опт}}(3) = 120 \text{ миль}.$$

Конечно, с учетом пониженной рефракции, взаимного перемещения объектов, заграждающего рельефа, особенностей приемопередающей аппаратуры и различных случайных факторов реальная картина претерпит значительные корректировки, но, как мы видим из рис. 6, порт Ново-

российск имеет топологическую возможность стать регионом с большой зоной контроля за судами маломерного флота. Результаты экспериментального мониторинга показывают, что следующим шагом для дальнейших проработок в указанном направлении может быть внедрение пилотной АСУ ДМФ. В настоящий момент в регионе Черного моря это внедрение может считаться беспрецедентным.

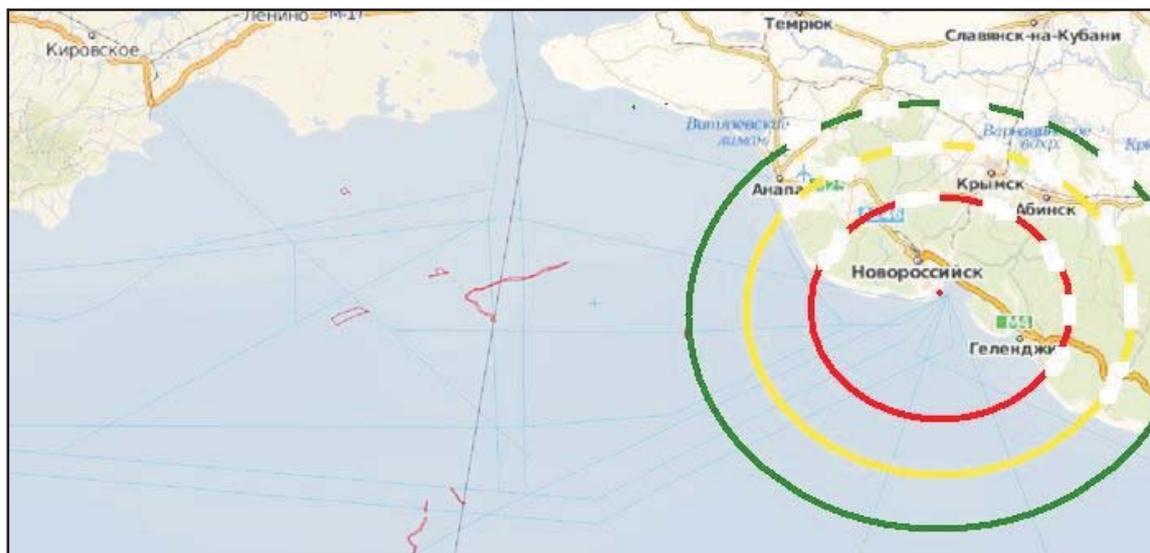


Рис. 6. Зоны действия БС АИС для АСУ ДМФ

Следует отметить, что экономика России имеет значительный потенциал, а транспорт является частью этого потенциала. Реализация перспективного плана развития портовой и прибрежной инфраструктуры через внедрение в эту схему АСУ ДМФ представляется как решение новой актуальной задачи повышения эффективности мониторинга и уровня безопасности судоходства в Черноморском регионе.

Предложенная концепция построения в Новороссийской бухте АСУ ДМФ с учетом ее важнейших подсистем: позиционирования, мониторинга, управления и взаимодействия, учитывает математическое и алгоритмическое обеспечение, а также методику решения многопараметрических стохастических задач, оптимизирующих зоны и дальность действия базовых станций АИС с учетом воздействия помех в информационных каналах, влияния заграждающего рельефа между яхтенным транспондером и базовой станцией (БС), а также перемещения яхтенного транспондера относительно БС. Синтезированные алгоритмы и разработанная методика количественного анализа зон действия базовых станций АИС при флюктуационных и взаимных помехах в информационных каналах, влияниях заграждающего рельефа и перемещении яхтенного транспондера относительно БС поможет оптимизировать количество требуемых базовых станций на всем протяжении береговой линии контролируемого участка.

Предложенная на рис. 6 топологическая структура зон действия базовых станций АИС на Черноморском побережье Кавказа может создать сплошные информационные поля связи АИС в указанных районах.

Очевидно, что модернизация порта Новороссийск и создание на его базе пилотного проекта АСУ ДМФ будут способствовать росту безопасности и яхтенной привлекательности Черноморского региона.

Важными аспектами внедрения АСУ ДМФ будут являться обеспечение экологической безопасности региона и предотвращение чрезвычайных ситуаций. Задействованный в составе АСУ ДМФ портофлот при ликвидации разливов нефтепродуктов поможет оптимизировать силы и средства организаций, которые могут быть привлечены к возможным операциям.

А в перспективе саморегулирующая и самоконтролируемая интеллектуальная АСУ ДМФ позволит наиболее объективно оценивать реальное состояние инфраструктуры маломерного флота по обеспечению морской безопасности и на основе проведенного анализа устанавливать наиболее слабые места в системе безопасности, вырабатывать рекомендации по устранению выявленных нарушений, намечать перспективные направления по обеспечению надежной охраны судов и портовых средств.

Следует помнить, что эффективное управление и контроль — залог качественного функционирования процесса и оптимального расходования сил, времени и средств на достижение поставленных целей.

Список литературы

1. Гольдберг О. Перспективы развития транспортной системы России / О. Гольдберг // Морские порты: информ.-аналит. журн. — 2010. — № 3 (84). — С. 8–11.
2. Ерыгин В. Эксперимент с ГЛОНАСС. Результаты впечатляют / В. Ерыгин // Морские порты: информ.-аналит. журн. — 2010. — № 3 (84). — С. 18–19.
3. Зайцев А. И. Автоматизированная система управления движением маломерного флота в ограниченных акваториях: дис. ... канд. техн. наук / А. И. Зайцев. СПб.: СПУВК, 2009. — С. 126–146.
4. Зайцев А. И. Маломерный флот Санкт-Петербурга на пути инновационного развития / А. И. Зайцев // Водный транспорт России: инновационный путь развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф. 6–7 октября 2010 г. — СПб.: СПБГУВК, 2011. — Т. 3. — С. 22–25.

УДК 629.12.001.2

С. Н. Некрасов,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК;

Ю. Г. Андреев,
доцент,
СПГУВК

ОЦЕНКА НАВИГАЦИОННЫХ РИСКОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НОВОАДМИРАЛТЕЙСКОГО МОСТА

NAVIGATIONAL RISKS ESTIMATION IN CONSTRUCTION OF NEW ADMIRALTEYSKY BRIDGE

Настоящая статья посвящена вопросу безопасности проводки судов через судоходный пролет моста на ВВП. Произведена оценка влияния гидрометеорологических факторов на безопасность судовождения и расчет навигационных рисков прохода судна через судоходный пролет мостов.

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

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

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

ОЦЕНКА навигационной безопасности плавания в сложных условиях представляется важной и актуальной научно-технической проблемой. В последнее время усиленно развиваются методы формализации оценки навигационных рисков. Сущность таких подходов заключается в использовании прикладных методов теории вероятности и математической статистики для анализа навигационных ситуаций и отыскания вероятности свершения неблагоприятных событий, которые приводят к появлению опасной навигационной ситуации. Исходная статистическая информация, необходимая для анализа, может быть получена при анализе после рейсовой информации, расследовании навигационных аварий и катастроф, а также при специальном математическом моделировании плавания судов в сложных условиях.

Имитационное моделирование применяется при оценке 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 (В). Она зависит от размерений и углов сноса судна.

Если ширина маневренной полосы движения судна соизмерима с допустимой шириной канала, фарватера или шириной подмостового габарита, то при этом может возникнуть опасная навигационная ситуация.

В свою очередь угол сноса зависит от местных факторов: ветра, волнения, течения и качества управления судном, то есть является случайной величиной со своими вероятностными характеристиками.

Результаты статистической обработки данных, полученных при имитационном моделировании плавания судов при проходе опор вновь проектируемого Новоадмиралтейского моста приведены в табл. 1.

Таблица 1

Статистические характеристики параметров сноса судов при проходе моста

	При среднем расходе р. Нева			При максимальном расходе р. Нева		
	«Валдай»	«Волго-нефть»	Буксируемый состав	«Валдай»	«Волго-нефть»	Буксируемый состав
Среднее значение сноса, град	6.0	7.6	2.8	7.0	7.1	4.5
Среднее квадратическое отклонение, град	1.0	1.0	0.7	1.7	2.0	0.5
Среднее значение скорости течения, м/с	0.53	0.53	0.53	1.16	1.16	1.16
Среднее квадратическое отклонение течения	0.21	0.21	0.21	0.21	0.25	0.25

Из теории управления судном известно, что ширина маневренной полосы движения описывается выражением

$$B = L_C \sin C + B_C \cos C, \quad (1)$$

где L_C — длина судна; B_C — ширина судна; C — угол сноса.

Общий угол сноса при проходе Новоадмиралтейского моста принят случайной величиной со статистическими характеристиками, приведенными в табл. 1.

Тогда математическое ожидание ширины маневренной полосы движения примет вид

$$\frac{m_B}{B_C} = \frac{L_C}{B_C} \sin m_C + \cos m_C, \quad (2)$$

где m_C — математическое ожидание угла сноса; m_B — математическое ожидание ширины маневренной полосы движения судна.

Результаты вычислений среднего значения углов сноса в соответствии с (2) приведены в табл. 2.

Таблица 2

$\frac{L_C}{B_C}$	m_C , град								
	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
6.0	1.21	1.32	1.42	1.52	1.62	1.72	1.83	1.93	2.03
7.0	1.24	1.36	1.49	1.6	1.73	1.85	1.96	2.08	2.2
8.0	1.28	1.42	1.56	1.69	1.83	1.97	2.10	2.23	2.37
9.0	1.32	1.47	1.63	1.78	1.94	2.08	2.24	2.39	2.55
10.0	1.35	1.52	1.69	1.87	2.04	2.21	2.38	2.55	2.72
11.0	1.38	1.57	1.76	1.95	2.14	2.33	2.52	2.71	2.85
12.0	1.42	1.62	1.83	2.1	2.24	2.45	2.66	2.86	3.07
13.0	1.45	1.67	1.89	2.13	2.35	2.57	2.8	3.02	3.24

Среднее квадратическое отклонение случайной функции Z составит [2]:

$$\sigma_Z = |f'(m_x)| \sigma_x. \quad (3)$$

Тогда среднее квадратическое отклонение изменчивости ширины маневренной полосы движения составит

$$\frac{\sigma_B}{B_C} = \frac{\sigma_C}{57.3^0} \left| \frac{L_C}{B_C} \cos c - \sin c \right|, \quad (4)$$

где σ_B — среднее квадратическое отклонение маневренной полосы движения судна; σ_C — среднее квадратическое отклонение суммарного дрейфа судна.

Результаты общих расчетов по формуле (4) приведены в табл. 3.

Таблица 3

$\frac{\sigma_C}{B_C}$	$\frac{L_C}{B_C}$	σ_C , град			
		2.0	3.0	4.0	5.0
	6.0	0.209	0.313	0.413	0.514
	7.0	0.214	0.334	0.483	0.60
	8.0	0.278	0.418	0.552	0.688
	9.0	0.314	0.467	0.623	0.774
	10.0	0.348	0.520	0.692	0.862
	11.0	0.307	0.572	0.761	0.948
	12.0	0.418	0.624	0.833	1.03
	13.0	0.453	0.677	0.90	1.11

Полученные результаты позволяют оценить вероятности свершения событий изменения маневренной полосы в пределах габаритов судового хода:

$$P\{\alpha_1 < x < \alpha_2\} = \Phi\left(\frac{\alpha_2 - m_B}{\sigma_B}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha_1 - m_B}{\sigma_B}\right), \quad (5)$$

где α_1, α_2 — границы габаритов судового хода; x — случайная величина ширины маневренной полосы движения судна; Φ — функция Лапласа.

Для оценки навигационных рисков прохода судна через судоходный пролет Новоадмиралтейского моста можно применить «правило трех сигм», которое позволяет оценивать вероятность свершения события:

$$P\{|x - m_B| > k\sigma_B\} = 2\phi(k), \quad (6)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$ — число.

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

Совершенно понятно, что это правило справедливо для нормальных случайных величин.

Результаты расчетов величины полосы движения судов при различных расходах p . Невы приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Значения ширины маневренной полосы движения судов
при проходе Новоадмиралтейского моста**

Тип судна	Расход	m_B , м	Вероятность свершения событий		
			0.673	0.95	0.997
«Валдай»	средний	29.2	30.9	32.5	34.2
	максимальный	29.5	32.8	36.6	40.3
«Волгонефть»	средний	32.0	33.6	35.2	36.8
	максимальный	32.0	35.3	38.6	41.9
Буксируемый состав	средний	27.0	34.4	39.8	46.2
	максимальный	30.0	36.4	42.8	49.2

Обобщение результатов расчетов изменчивости ширины маневренной полосы движения судов при различных значениях вероятностной обеспеченности с учетом значения ширины подмостового габарита 40 м показывает следующее.

1. Предельные с вероятностью $P = 0,997$ значения ширины полосы движения судна при максимальных расходах p . Невы для судов типа «Валдай» и «Волгонефть» превосходят параметры судового габарита, что свидетельствует о наличии опасной ситуации касания опор оконечностями судов.

2. Значения навигационных рисков можно снизить, если предложить ограничить движение судов при силе приземного ветра больше 12 м/с.

3. Учитывая, что методические погрешности моделирования как течений в р. Неве, так и моделирования динамики судов, составляют до 7–10%, целесообразно учесть эти погрешности в конечных результатах оценки полосы движения судов, что приведет к их увеличению на 3–4 м.

4. Проектируемое значение подмостового габарита нового моста с учетом навигационных рисков судоходства должно быть не менее 50,0 м.

Таким образом, использование предложенных подходов к формализации оценки навигационных рисков позволило получить количественные характеристики рисков и обоснованно подой-

ти к выбору вариантов уменьшения навигационных рисков при изменении параметров подмостовых габаритов.

Список литературы

1. *Андреев Ю. Г.* Оценка полосы, занимаемой судном, при движении на прямом курсе / Ю. Г. Андреев // Науч.-метод. конф.–98: тез. докл. — СПб.: СПГУВК, 1998. — Ч. 2.
2. *Выгогский М. Я.* Справочник по высшей математике / М. Я. Выгогский. — М.: Наука, 2002.
3. *Некрасов С. Н.* Комбинированный метод оценки навигационной безопасности при плавании по внутренним водным путям / С. Н. Некрасов, А. А. Прохоренков // Журнал университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2011.

ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 628.511.001.57:656.62.073.28:689.46

Н. С. Отделкин,д-р техн. наук,
ФГОУ ВПО «Волжская государственная
академия водного транспорта»;**А. С. Слюсарев,**д-р техн. наук, профессор,
ФГОУ ВПО «Волжская государственная
академия водного транспорта»;**Ф. Е. Турукалов,**аспирант,
ФГОУ ВПО «Волжская государственная
академия водного транспорта»

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОЭЖЕКТОРОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПЕРЕГРУЗКЕ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ НАВАЛОМ

USING OF HYDROEJECTORS FOR REDUCING OF DUST FORMATION WHEN TRANFERING LOOSE GOODS IN BULK

Статья посвящена исследованиям гидроэжекторов для борьбы с пылью сыпучих грузов при их перегрузке с помощью бункерных устройств и ленточных конвейеров.

The article is devoted to research of hydroejectors to control dust of loose goods when transferring them with feed hoppers or belt conveyors.

Ключевые слова: сыпучий груз, пыль, аспирация, гидроэжектор, исследование.

Key words: loose cargo, dust, aspiration, hydroejector, research.

ОПЫТ перегрузки мелкозернистых, порошкообразных и пылевидных сыпучих грузов с максимальным размером частиц менее 0,5 мм показывает, как много возникает проблем, связанных с пылеобразованием, приводящим к отрицательному воздействию пыли на окружающую среду.

Для перегрузки таких сыпучих грузов применяют специальные грейферно-бункерные перегружатели, конвейеры, телескопические трубы, снабженные системами борьбы с пылью. Одними из самых распространенных пылеподавляющих систем являются аспирационные системы. Аспирационные системы включают в себя герметичные укрытия зон пылевыделения и оборудование для отсоса и очистки запыленного воздуха. Очистку отсасываемого запыленного воздуха осуществляют в одну или две ступени. В первой ступени применяют камерные пылеуловители и циклоны, которые служат для осаждения грубодисперсной пыли с размерами частиц не менее 25...50 мкм. Во второй ступени, после предварительного улавливания пыли в первой ступени очистки, оставшаяся мелкодисперсная пыль с размерами частиц не более 0,5...3 мкм улавливается рукавными или электрическими фильтрами и мокрыми пылеуловителями [1].

На рис. 1 представлены два варианта конструкций бункеров с аспирационными системами.

В одном варианте (рис. 1, а) грейфер разгружается над бункером 1 через воронку 2. Запыленный воздух засасывается через воздухопроводы 3.

В другом варианте (рис. 1, б) грейфер сверху заводится непосредственно в бункер 1, где изолируется с помощью горизонтальных приводных створок 2. Запыленный воздух засасывается так же через воздухопроводы 3 [2].

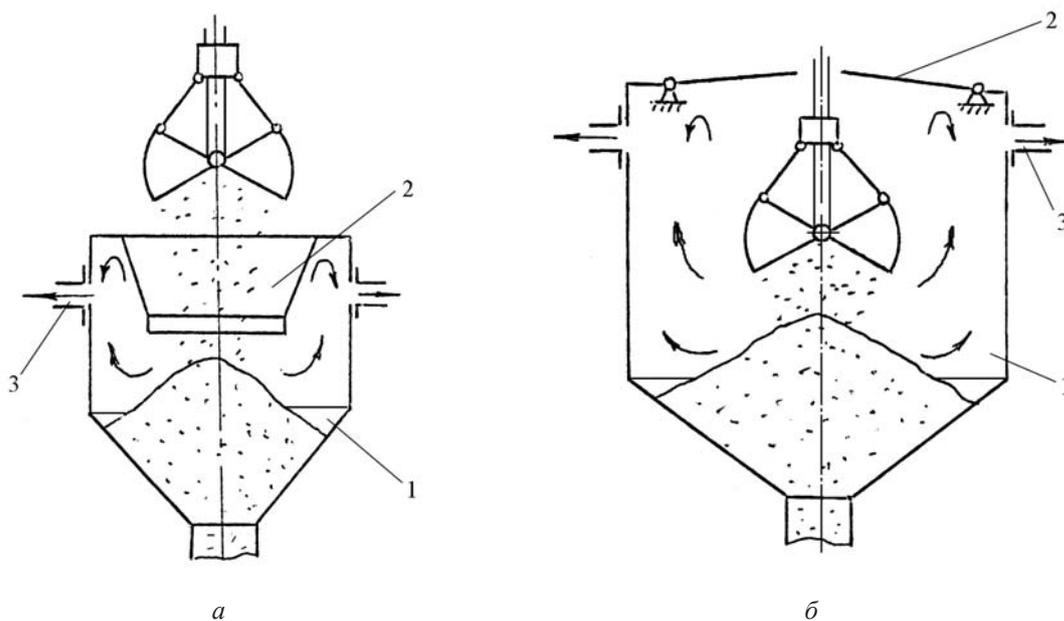


Рис. 1. Конструкции бункеров с аспирационными системами:
а — разгрузка грейфера над бункером; *б* — разгрузка грейфера в бункере

На рис. 2 показана система аспирации при перегрузке груза с конвейера на конвейер, где отсос воздуха по трубам 3 осуществляется из нижнего 2 и верхнего 4 укрытий, установленных соответственно на приемном 1 и верхнем 5 конвейерах. Для отсекания пыли от точки отсоса запыленного воздуха из укрытий служит жесткая перегородка 6 [2].

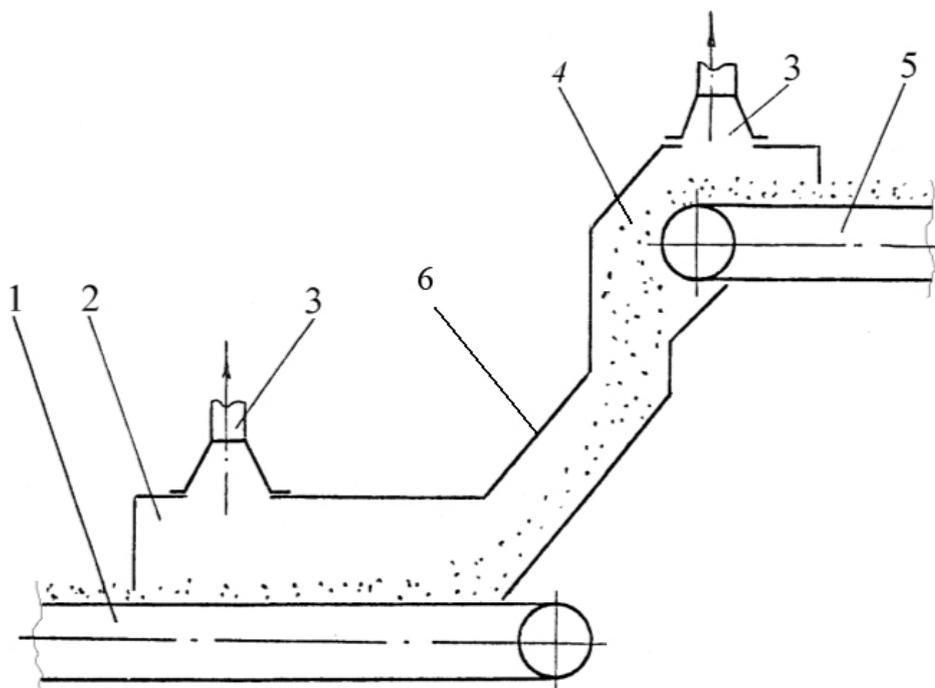


Рис. 2. Система аспирации при перегрузке груза с конвейера на конвейер

При погрузке судов сыпучими грузами с помощью ленточных конвейеров и пневмоустановок применяют телескопические трубы (рис. 3), состоящие из телескопических секций 1, снабженных

насадкой 2, из которой запыленный воздух отсасывается через патрубок 3. Для уплотнения зазора между насадкой и слоем груза служит мягкий фартук 4.

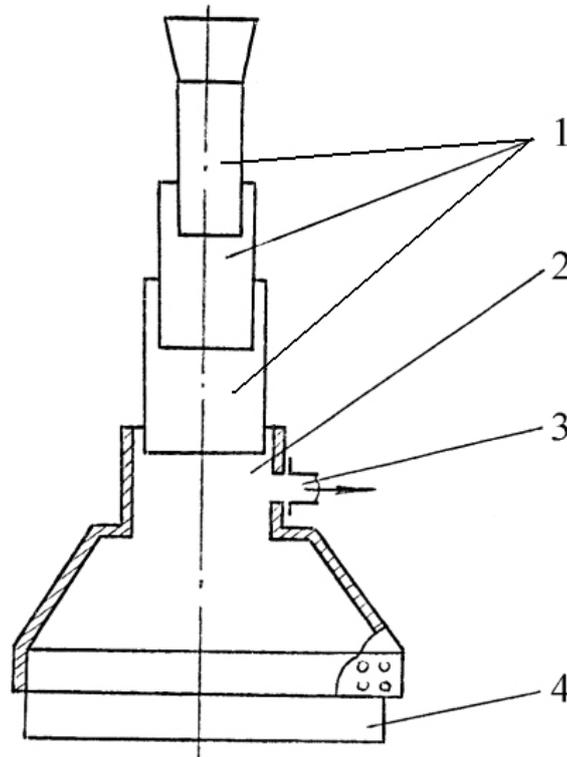


Рис. 3. Схема загрузки судов с помощью телескопической трубы с системой аспирации

Аспирационные системы, обладая высокой степенью обеспыливания, имеют следующие недостатки:

- высокие энергозатраты (1,5...2,0 кВт на 1000 м³ запыленного воздуха);
- большие объемы отсасываемого воздуха (для бункеров — до 1500 м³/ч, для конвейеров — до 5000 м³/ч);
- невозможность применения для сыпучих грузов, способных образовывать пожаро- или взрывоопасные пылевоздушные смеси.

Недостатки, присущие аспирационным системам обеспыливания, позволяет исключить разработанная на кафедре ПМ и ПТМ ВГАВТа гидроэжекционная система.

На рис. 4 представлен специальный бункер с гидроэжекционной системой, предназначенной для грейферно-бункерных перегружателей.

Конструкция состоит из бункера 1 с опорными стойками 2 для герметичного грейфера 3 и двух створок 4, уравновешенных противовесами 5. К стенкам бункера 1 крепятся пылеулавливающие камеры 6 с закрепленными гидроэжекторами 7, внутри которых находятся пневмораспылители 8. В нижней части пылеулавливающей камеры имеется съемный сборник 9 для отстоя и сбора твердого осадка. Жидкость к распылителю 8 подается из емкости 10 насосом 11, ее распыление осуществляется сжатым воздухом, поступающим от компрессора 12. Очищенный от пыли воздух выпускается в атмосферу через патрубок 13. Датчик 14 служит для включения насоса 11 и компрессора 12 при посадке грейфера 3 на опорные стойки 2 и выключения насоса и компрессора после окончания разгрузки и подъема порожнего грейфера.

Устройство работает следующим образом. Герметичный грейфер 3 с грузом, опускаясь на бункер 1, фиксируется нижней траверсой в опорных стойках 2 бункера. После раскрытия

грейфера уравновешенные створки 4 под действием падающего груза поворачиваются, пропуская груз, и опять закрываются, отсекая груз и выделяющуюся пыль в бункере. В момент фиксации грейфера 3 на бункере 1 датчик 14 включает в работу насос 11 и компрессор 12, которые подают воду и сжатый воздух к распылителям 8. Водовоздушная смесь, поступающая через гидроэжектор 7, засасывает пыль, перемешивается с ней и коагулирует в пылеулавливающей камере 6. В процессе длительной работы бункера происходит отстаивание твердого осадка и жидкости в отстойнике 9. При этом жидкость сливается в емкость 10 и используется многократно (по замкнутому контуру), а отстойник 9 по мере его заполнения твердым осадком заменяется. Через патрубок 13 чистый воздух выходит в атмосферу.

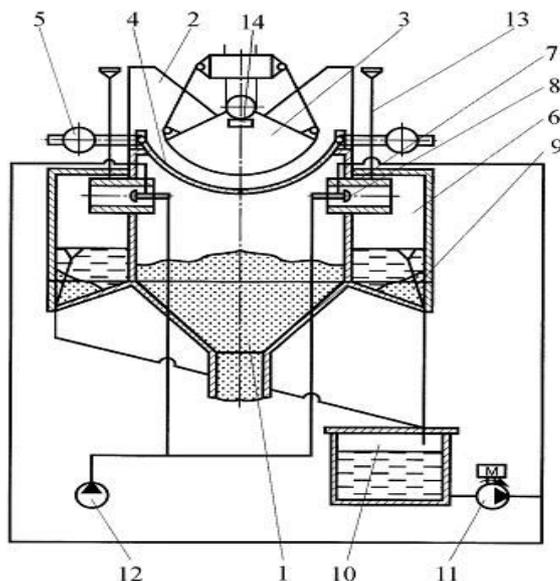


Рис. 4. Конструкция специального бункера с гидроэжекционной системой обеспыливания

Аналогично бункерному перегружателю аспирационная система может быть заменена на гидроэжекционную и в других перегрузочных устройствах.

Конструкция укрытия с гидроэжекционной системой для узла передачи сыпучего груза с конвейера на конвейер представлена на рис. 5, а для телескопической трубы — на рис. 6.

С целью определения рациональных размеров гидроэжектора были выполнены экспериментальные исследования:

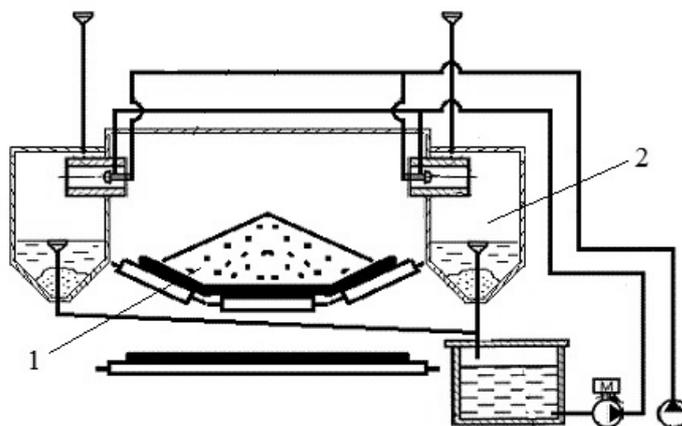


Рис. 5. Конструкция укрытия с гидроэжекционной системой узла передачи сыпучего груза с конвейера на конвейер:

1 — приемный конвейер; 2 — гидроэжекционная система

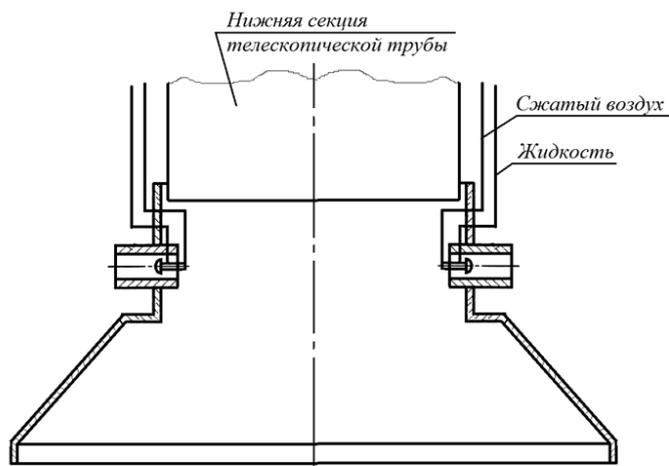
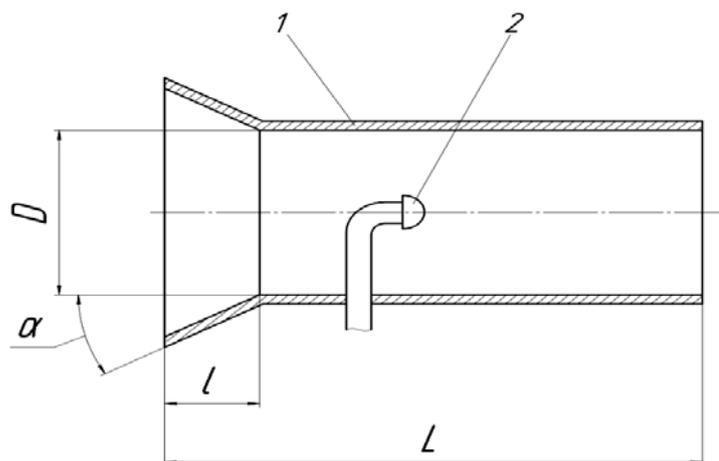


Рис. 6. Конструкция насадки телескопической трубы с гидроэжекционной системой (насос и компрессор не показаны)

- 1) определение количества отсасываемого гидроэжектором воздуха в зависимости от его геометрических размеров;
- 2) определение количества отсасываемого гидроэжектором воздуха и количества поданного на него сжатого воздуха;
- 3) определение количества отсасываемого гидроэжектором запыленного воздуха в зависимости от количества поданной на него воды;
- 4) определение рациональных значений количества воды и сжатого воздуха, необходимых для эффективного пылесосаждения.

Определение зависимости количества отсасываемого гидроэжектором запыленного воздуха от его геометрических размеров и количества поданного на него сжатого воздуха осуществлялось на двух эжекторах с различными геометрическими размерами.

Схема гидроэжекторов и их геометрические размеры представлены на рис. 7.



Обозначение эжектора	D	α	L	l
№ 1	100	30°	300	30
№ 2	200	30°	450	50

Рис. 7. Схема гидроэжекторов и их геометрические размеры:
1 — гидроэжектор; 2 — пневмораспылитель

Методика проведения исследования была принята следующая. К пневмораспылителю, размещенному внутри гидроэжектора, подавался сжатый воздух. Расход сжатого воздуха составлял 26, 39 и 55 м³/мин. Затем на входе в гидроэжектор со стороны его большего диаметра помещался анемометр. Объем отсасываемого воздуха определялся как произведение скорости воздушного потока на входе в гидроэжектор на площадь его поперечного сечения. Аналогичные замеры производились со следующим гидроэжектором.

На рис. 8 представлена зависимость количества отсасываемого гидроэжектором воздуха от количества поданного на него сжатого воздуха.

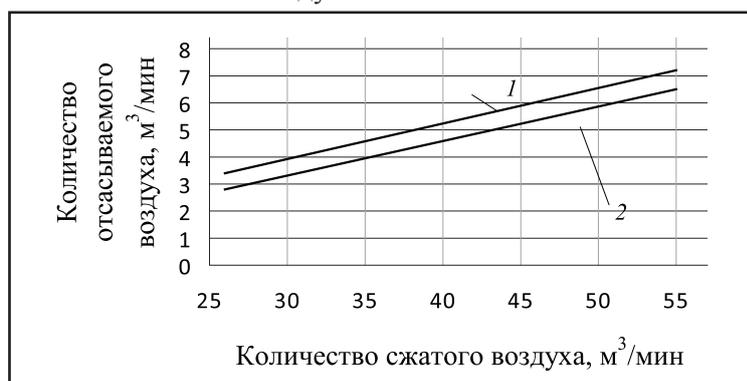


Рис. 8. Зависимость количества отсасываемого эжектором воздуха от количества поданного на него сжатого воздуха:

1 — эжектор № 1; 2 — эжектор № 2

По построенным зависимостям видно, что с увеличением количества сжатого воздуха, поданного на гидроэжектор, прямо пропорционально растет и количество отсасываемого обоими эжекторами воздуха.

Полученные зависимости можно представить в следующем виде:

$$Q_{\text{сж.в.}} = K \cdot Q_3, \quad (1)$$

где K — коэффициент пропорциональности; Q_3 — количество отсасываемого эжектором воздуха, м³/мин.

Кроме того, обе прямые строго параллельны друг к другу. Это говорит о том, что количество отсасываемого эжектором воздуха прямо пропорционально его диаметру.

Определение зависимостей количества отсасываемого воздуха и воды осуществлялось на установке для комплексного исследования свойств пылящих сыпучих грузов и на модели гидроэжектора. Схема установки с гидроэжектором представлена на рис. 9.

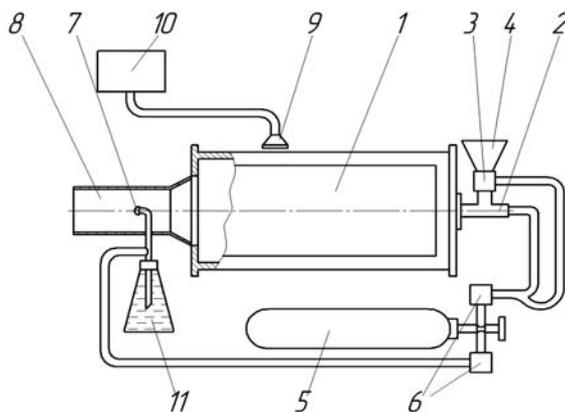


Рис. 9. Схема установки для комплексного исследования свойств пылей сыпучих грузов с пылевой камерой и гидроэжектором

К левой торцевой стенке крепится конусной частью гидроэжектор 8. Фильтродержатель 9 соединен резиновой трубкой с аспиратором 10 для отбора проб воздуха на запыленность из пылевой камеры 1.

Комплекс работает следующим образом. В емкость 4 загружается сыпучий груз. Аэрирующее устройство 3 повышает текучесть груза, которая засасывается эжектором 2 и подается в камеру 1.

Баллон 5 с сжатым воздухом имеет автоматы 6 для регулировки подачи воздуха.

Пылевая камера тарируется на изменение концентрации и скорости движения пылевого потока заданного фракционного состава с помощью сменных жиклеров и изменением расхода воздуха.

При поступлении сжатого воздуха на пневмораспылитель 7, который соединен с емкостью 11 для жидкости, гидроэжектор 8 начинает отсасывать из пылевой камеры запыленный воздух. Частицы пыли контактируют с каплями жидкости, что приводит к увеличению их веса и осаждению.

Методика проведения исследований заключалась в следующем. После подготовки установки и загрузки апатитовой пылью при влажности 1 % в пылевой камере создавался поток пыли с концентрацией 46 г/м³. При данной концентрации в пылевой камере и выключенном пневмораспылителе на выходе значение концентрации пыли составляло 6,3 г/м³.

Затем к пневмораспылителю подавали сжатый воздух с величиной расходов 14,3; 16,9 и 20,3 м³/мин при неизменном расходе распыленной жидкости, который составлял 0,0094 л/мин.

При указанных расходах сжатого воздуха определялись значения запыленности воздуха в пылевой камере.

На рис. 10 представлены зависимость запыленности воздуха в пылевой камере от количества поданного на гидроэжектор сжатого воздуха, полученная в результате проведенных исследований.

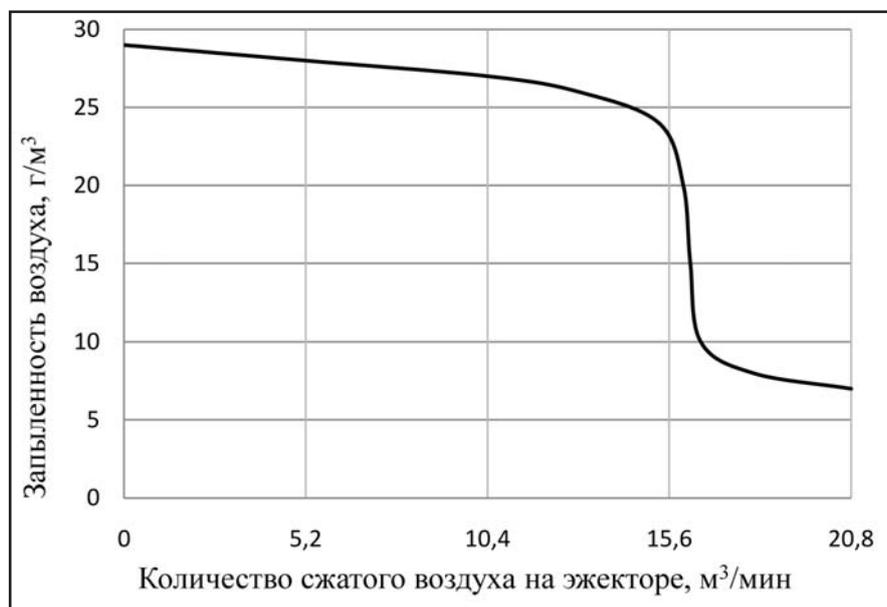


Рис. 10. Зависимость запыленного воздуха в пылевой камере от количества сжатого воздуха поданного на эжектор

Методика проведения исследований по определению зависимости количества отсасываемого эжектором запыленного воздуха от количества поданной на эжектор жидкости аналогична приведенной выше, с той лишь разницей, что расход сжатого воздуха оставался постоянным и составлял 14,3 м³/мин, а расход жидкости изменялся в пределах 0,0094, 0,022, и 0,028 л/мин. Результаты проведенных исследований представлены на рис. 11.

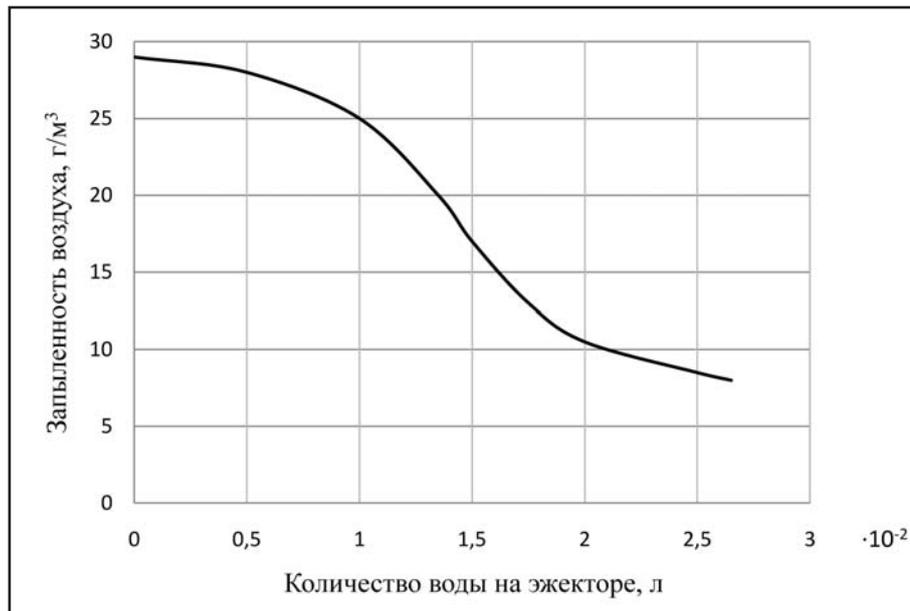


Рис. 11. Зависимость запыленности воздуха в пылевой камере от количества поданной на эжектор воды

С учетом результатов выполненных исследований были определены рациональные параметры гидроэжекторов применительно к грейферно-бункерным перегружателям, для которых должны быть выполнены следующие условия:

— максимально снизить запыленность воздуха над бункерным устройством со створками при разгрузке грейфера с апатитом;

— суммарная запыленность воздуха над бункерным устройством и на выходе из гидроэжектора не должна превышать норм предельно-допустимых выбросов (ПДВ), которые для большинства сыпучих грузов составляют 80 мг/м³.

Чтобы запыленность под бункерным устройством была минимальной, необходимо создать в бункерном пространстве в момент разгрузки грейфера разрежение, что позволит исключить вытеснение запыленного воздуха через неплотности створок. Указанное разрежение достигается при выполнении условия

$$Q_{\text{о.в.}} \geq Q_{\text{в.в.}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{о.в.}}$ — объем отсасываемого запыленного воздуха, м³/мин; $Q_{\text{в.в.}}$ — объем вытесненного из бункерного устройства запыленного воздуха, м³/мин.

Величина $Q_{\text{о.в.}}$ определяется из выражения

$$Q_{\text{о.в.}} = n \cdot Q_3, \quad (3)$$

где n — количество эжекторов; Q_3 — производительность одного гидроэжектора по отсосу запыленного воздуха, м³/мин.

Величина Q_3 определяется по формуле

$$Q_3 = v_{\text{гр.}} / \tau_{\text{р.н.}}, \quad (4)$$

где $v_{\text{гр.}}$ — объем материала, поступающего в бункер при загрузке грейфера, равный вместимости грейфера, $v_{\text{гр.}} = 5,6 \text{ м}^3$; $\tau_{\text{р.н.}}$ — время раскрытия грейфера, равное 12 с.

После подстановки заданных значений в выражение (3) получим

$$n \cdot Q_3 = 28 \text{ м}^3/\text{мин}. \quad (5)$$

Из конструктивных соображений принимаем количество гидроэжекторов $n = 10$.

Из выражения (4) определяем производительность одного гидрэжектора по отсосу запыленного воздуха

$$Q_3 = 28/10 = 2,8 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Количество сжатого воздуха $Q_{\text{сж.в.э.}}$, которое необходимо подать на эжектор, чтобы он обеспечил заданную производительность по отсосу, определяем, используя коэффициент $K = 4,3$, то есть

$$Q_{\text{сж.в.э.}} = 4,3 \cdot 2,8 = 12,04 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Концентрация и дисперсность капель жидкости являются определяющими при коагуляции. При прочих равных условиях с уменьшением размера капель возрастает их число и вероятность встречи частиц пыли с каплями. Однако при значительной степени диспергирования жидкости агрегаты (капля-частица пыли) не оседают, а уносятся воздушным потоком, и массовая концентрация пыли в воздухе значительно уменьшится [2].

Таким образом, результаты приведенных выше исследований позволяют:

- 1) рассчитать геометрические параметры гидроэжектора;
- 2) определить значение производительности гидроэжектора по отсосу запыленного воздуха и установить необходимое количество гидроэжекторов;
- 3) оценить эффективность гидроэжекционной системы по степени снижения запыленности воздуха.

Подводя итог, необходимо отметить, что гидроэжекционная система обеспыливания по сравнению с аспирационной имеет следующие преимущества:

- откаченный гидроэжекторами запыленный воздух не требует очистки, что снижает энергоемкость гидроэжекционной системы;
- перегрузочные устройства, снабженные гидроэжекционной системой обеспыливания, могут применяться для перегрузки пожаро- и взрывоопасных сыпучих грузов.

Список литературы

1. Бобровников Н. А. Защита окружающей среды на транспорте / Н. А. Бобровников. — М.: Транспорт, 1984. — 72 с.
2. Отделкин Н. С. Теоретические основы оценки потерь и защиты окружающей среды от пылеобразования при перегрузке и хранении сыпучих грузов в портах: дис. ...д-ра техн. наук / Н. С. Отделкин. — Н. Новгород, 2008. — 344 с.

УДК 628.3

В. И. Решняк,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК;

С. Е. Посашкова,
аспирант,
СПГУВК

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ СТОЧНОЙ ВОДЫ

MANUFACTURING WATER DISINFECTION

В статье приводится анализ способов обеззараживания сточной воды с использованием хлора и его соединений, а также основных факторов, влияющих на эффективность процесса обеззараживания и экологическую безопасность обеззараженной сточной воды.

The article presents an analysis of some means of manufacturing water disinfection with the use of chlorine and its compounds and main factors influencing the effectiveness of the process of disinfection and ecological safety of disinfected manufacturing water.

Ключевые слова: сточные воды, обеззараживание, активный хлор, остаточный хлор.
Key words: manufacturing water, disinfection, active chlorine, residual chlorine.

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ очищенных сточных вод осуществляется для уничтожения патогенных бактерий и снижения бактериологической опасности сточной воды. При выборе способа обеззараживания учитываются количество и качество очищаемой сточной воды, требования к очищенной воде, а также условия поставки и хранения реагентов, наличие возможности автоматизации процесса. Наиболее широко обеззараживание сточных вод обеспечивается в процессах окисления, а также при обработке УФ-излучением.

В качестве окислителей возможно применение хлора и его производных, озона, пероксида водорода, гипохлорита натрия и кальция. На практике чаще всего используют хлор, гипохлорит натрия или озон.

При выборе окислителя необходимо учитывать факторы, влияющие на эффективность очистки, в том числе способность окислителей к реакциям замещения, в результате которых могут образовываться токсичные вещества. Особое внимание при хлорировании сточных вод необходимо уделять вероятности образования и накопления в воде водоемов галогенизированных углеводородов, неблагоприятные последствия воздействия которых на население и биосферу во много раз выше эпидемической опасности микробного загрязнения воды. В настоящее время доказана связь роста онкологических заболеваний с хлорированием воды, установлено токсическое, канцерогенное действие хлорорганических соединений на человеческий организм [1].

Из физических способов наиболее распространено обеззараживание сточных вод УФ-излучением. Возможно также применение комбинированных способов обеззараживания.

Повышение требований к безопасности хранения и использования хлора дало в последние годы новый толчок к совершенствованию способов электрохлорирования, а также безреагентных и синергетических способов обеззараживания (УФ-облучение и обработка ускоренными электронами с применением фотолитического озона), которые характеризуются меньшей вероятностью отрицательных последствий в экосистемах водоемов — приемников сточных вод.

Сравнительная характеристика технико-экономических и экологических характеристик некоторых способов обеззараживания сточной воды приведена в табл. 1.

**Особенности различных методов обеззараживания
сточных вод**

Способ обеззараживания	Длительность процесса, мин	Последствие, сут	Органолептические свойства воды	Конструктивная сложность	Вероятность сублетальных повреждений и мутагенный эффект
Хлорирование	30–60	1–5	Ухудшает (хлорфенольный запах при наличии в воде фенола)	Высокая при применении жидкого хлора (опасность утечки жидкого хлора)	Низкие (вирулицидным эффектом обладает только свободный активный хлор)
Озонирование	5–30	—	Улучшает (устранение запахов)	Средняя (высокое электрическое напряжение, возможность утечки озона)	Низкие
УФ-облучение	1–15	—	Не влияет	Малая	Средние
γ-облучение	1–15	—	Не влияет	Высокая (необходимость обеспечения радиационной безопасности, опасность при смене источников излучения)	Средняя вероятность сублетальных повреждений, высокий мутагенный эффект
Облучение ускоренными электронами	1–15	—	Не влияет	Высокая (сложная конструкция ускорителя, необходимость обеспечения радиационной безопасности)	Средние

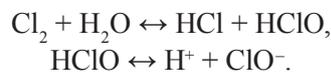
Обеззараживание воды хлором — наиболее распространенный способ обеззараживания, как в нашей стране, так и за рубежом. Впервые он был применен в 1894 г. в Германии. В России хлорирование больших количеств воды было применено в 1910 г. как принудительная мера при появлении холеры в Кронштадте и брюшного тифа в Нижнем Новгороде. При хлорировании воду обрабатывают газообразным хлором или препаратами, содержащими активный хлор, то есть хлор, входящий в состав хлорсодержащих соединений и способный при определенных условиях выделять эквивалентное количество йода из водных растворов йодида калия. К ним относятся хлорная известь ($\text{Ca}(\text{Cl})\text{OCl}$), хлорит (NaClO_2) и гипохлорит натрия ($\text{NaClO} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), гипохлорит кальция $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ и др.

Под активным хлором понимают растворенный молекулярный хлор и его соединения — диоксид хлора, хлорамины, органические хлорамины, гипохлориты и хлориты. При этом различают активный свободный хлор (молекулярный хлор, хлорноватистую кислоту и гипохлорит-ион) и активный связанный хлор, входящий в состав хлораминов. Бактерицидное действие свободного хлора в 20–25 раз выше, чем связанного [2].

Бактерицидное действие хлора является результатом химической реакции между HClO и бактериальной клеточной структурой, вследствие чего парализуются клеточные жизненные процессы и бактерии погибают. Степень обеззараживания зависит в основном от концентрации активного хлора, времени контакта, значения pH и температуры воды. Хлорноватистая кислота более эффективна, чем ион гипохлорита.

Обычно на разрушение бактериальных клеток расходуется лишь некоторая часть введенного в воду хлора, а большая часть — на реакции с различными примесями, находящимися в очищенной сточной воде, например на окисление органических веществ. Существует термин «хлоропоглощаемость» воды, который характеризует количество хлора, поглощаемого примесями [3].

Хлор взаимодействует с водой:



Соотношение между свободным хлором (Cl_2), недиссоциированной хлорноватистой кислотой HClO и гипохлорит-гипионом ClO^- зависит от pH обрабатываемой воды.

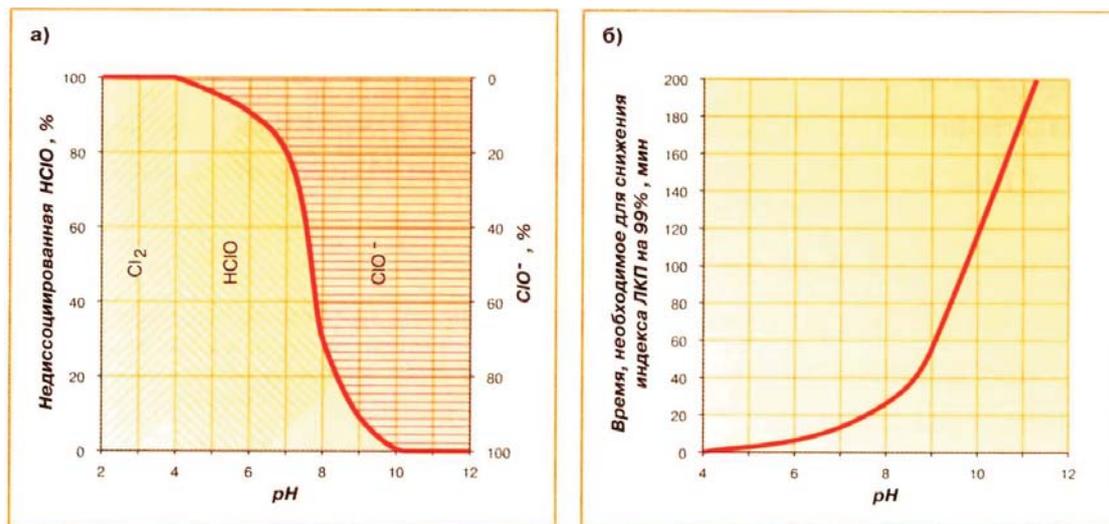


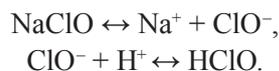
Рис. 1. Изменение концентрации HClO и ClO^- (а) и зависимость бактерицидного эффекта свободного хлора (б) от pH

При санитарно-бактериологической оценке качества городских сточных вод обязательным является определение коли-индекса. Этот контроль проводят по содержанию в сточных водах лактозоположительных кишечных палочек (ЛКП). Этот же показатель определяют при оценке качества воды водоема, в который сбрасывают сточные воды.

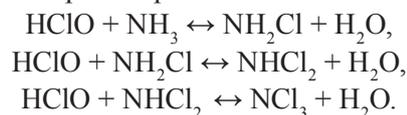
Как видно на рис. 1, а, при $\text{pH} > 4$ свободного хлора в воде практически нет, а в наиболее распространенном для сточных вод диапазоне pH от 6,5 до 8,5 присутствуют хлорноватистая кислота и гипохлорит-ион. Анализ зависимости времени контакта, необходимого для снижения индекса ЛКП на 99,9 %, от pH обрабатываемой воды рис. 1, б показывает, что необходимая длительность экспозиции возрастает с 8–10 мин при $\text{pH} = 6$, до 180 мин при $\text{pH} = 11$, в наиболее распространенном диапазоне pH (6,5–8,5) время контакта должно составлять 20–40 мин.

Таким образом, недиссоциированная хлорноватистая кислота и гипохлорит-ион — это основные бактерицидные соединения хлора в воде при обычных для сточных вод значениях pH.

Гидролиз гипохлорита натрия (кальция) также зависит от pH среды и происходит с образованием гипохлорит-ионов и хлорноватистой кислоты:



Хлор, хлорноватистая кислота и гипохлориты взаимодействуют с присутствующими в воде аммиаком, аммонийными или органическими солями, содержащими аминогруппы, образуя при этом моно- и дихлорамины, а также треххлористый азот:



При гидролизе этих соединений выделяется и активный хлор [1].

Дозу хлора, необходимую для обеззараживания воды, в связи со сложной зависимостью хлорпоглощаемости от некоторых факторов определяют, исходя из величины остаточного хлора. Известно, что при остаточном хлоре более 0,3 мг/л после 30-минутного контакта обеззараживание удовлетворительное. Рекомендуемая доза хлора для обеззараживания сточных вод равна 8...15 мг/л при обеспечении времени контакта 20...30 мин [3].

Для гарантированного обеззараживания воды в ней поддерживают остаточную концентрацию свободного хлора, равную 1,5 мг/л при времени контакта 30 мин и 1,0 мг/л при контакте в течение 60 мин. В табл. 2 представлена рекомендуемая доза хлора в зависимости от степени очистки сточной воды.

Таблица 2

Обеззараживание сточных вод хлорированием

Степень очистки	Доза хлора, мг/л	Остаточный хлор (мг/л) при времени контакта, мин		
		15	30	60
Неочищенный сток	20–30	4–5	3–4	—
После механической очистки	10	3–4	1,5–3,0	—
После механохимической или неполной биологической очистки	5	1,5–2,0	1,5	1,0
После полной биологической, физико-химической и глубокой очистки	3	1,5–2,0	1,5	1,0

Перечень реагентов, наиболее часто применяемых для хлорирования сточных вод, приведен в табл. 3 [1].

Таблица 3

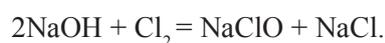
Перечень реагентов, применяемых для хлорирования сточных вод

Реагент, материал	ГОСТ, ТУ	Основное вещество	
		химическое обозначение	содержание, %
Кальция гипохлорит нейтральный	ГОСТ 2563-82Е	$\text{Ca}(\text{ClO})_2$	Марка А. Активный хлор не менее: 72,0 (сорт высший) 64,0 (сорт I) 52,0 (сорт II)
Кальция гипохлорит водорастворимый	ТУ 6-01-1258-81	$\text{Ca}(\text{ClO})_2$	Активный хлор не менее: 30,0 (сорт I) 24,0 (сорт II) 18,0 (сорт III)
Кальция гипохлорит санитарно-технический	ТУ 6-01-12-74-81	$\text{Ca}(\text{ClO})_2$	Активный хлор не менее 40,0
Натрия гипохлорит	ТУ 2432-81	NaClO	Активный хлор не менее: 90,0 г/л (марка А) 60,0 г/л (марка Б)
Хлор жидкий	ГОСТ 6718-93	Cl_2	Не менее: 99,8 (сорт высший) 99,6 (сорт I)

Наиболее приемлемыми для судовых условий из хлорсодержащих обеззараживающих реагентов следует считать гипохлорит натрия и гипохлорит кальция, менее надежным — хлорную известь.

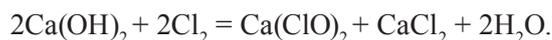
Гипохлорит натрия NaClO поставляется в виде сиропообразного зеленовато-желтого раствора, не содержащего осадка и взвешенных частиц, в специальных гуммированных цистернах или покрытых винилпластом контейнерах [1].

Раствор гипохлорита натрия на воздухе разлагается, поэтому его необходимо хранить в плотно закрытой емкости в сухом прохладном помещении. Не следует заполнять гипохлоритом полностью расходную емкость установки, если известно, что раствор будет находиться в ней несколько суток. В этом случае следует периодически добавлять в емкость свежий раствор. Гипохлорит натрия образуется при пропускании газообразного хлора через охлаждаемый раствор щелочи:

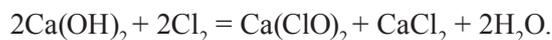


Концентрация активного хлора в таком растворе 10...18 % [3]. Возможно получение гипохлорита натрия на месте использования электролизом поваренной соли в специальных аппаратах — электролизерах.

Гипохлорит кальция $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ — это белый кристаллический порошок, влажность которого не превышает 2 %. Его получают хлорированием известкового молока при температуре 25...30 °С:

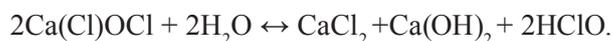


Хлорная известь $\text{Ca}(\text{Cl})\text{OCl}$ — смесь гипохлорита, хлорида, и гидроксида кальция. Она подвержена быстрому разложению как в сухом виде, так и в виде раствора. Ее получают взаимодействием хлора с гашеной известью (гидроксидом кальция):



Реально продукт, получаемый хлорированием гидроксида кальция, является смесью соединений, образованных молекулами $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и кристаллизационной воды. Формально его состав выражают формулой $\text{Ca}(\text{Cl})\text{OCl}$. Бактерицидные свойства хлорной извести целиком зависят от имеющегося в ней аниона хлорноватистой кислоты. Содержание активного хлора в хлорной извести может достигать 32...36 %.

Хлорная известь гигроскопична и малостойка из-за реакции гидролиза и распада под влиянием света и углекислоты. В результате гидролиза образуется хлорноватистая кислота, которая обеспечивает процесс обеззараживания:



Определить правильную дозу обеззараживающего раствора, подаваемого в сточные воды, можно только по количеству остаточного хлора в обработанной воде, содержание которого при сбросе воды в водоем не должно превышать 5 мг/л. В то же время надежное обеззараживание обеспечивается при содержании остаточного хлора в обеззараженной воде не ниже 1,5 мг/л [3].

Качество очистки зависит от количества загрязнений в исходной воде, поступающей в установку. Состав воды в течение суток существенно изменяется. Следовательно, концентрация остаточного хлора в обработанной воде может изменяться в более широком диапазоне, чем 1,5 % мг/л.

Таким образом, в настоящей статье проанализирована возможность использовать хлор и его соединения в установках для обеззараживания сточной воды. Показано, что при наличии определенных недостатков такой способ обеззараживания остается целесообразным к применению.

Список литературы

1. Отведение и очистка сточных вод Санкт-Петербурга / под общ. ред. Ф. В. Кармазинова. — СПб.: Новый журнал, 2002. — 683 с.
2. Кульский Л. А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды: в 2 ч. / Л. А. Кульский [и др.]. — Киев: Наук. думка, 1980. — 1206 с.
3. Зубрилов С. П. Охрана окружающей среды при эксплуатации судов / С. П. Зубрилов, Ю. Г. Ищук, В. И. Косовский. — Л.: Судостроение, 1989. — 256 с.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ

УДК: 658:656.6

В. А. Бабури,
канд. техн. наук, профессор,
СПГУВК;

С. К. Минеев,
аспирант,
СПГУВК;

К. Р. Бабурина,
студентка,
СПГУВК

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОРСКОГО ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА

THE OPTIMIZATION FOR SEA TRANSPORT HUB SETTINGS

В статье рассматривается возможность применения математического аппарата теории массового обслуживания для оптимизации технологического процесса полной обработки судов в порту.

The opportunity of applying of the mathematical instrument of queueing theory for optimization of technological process of the vessels servicing in the port is considered in an article.

Ключевые слова: системы массового обслуживания, оптимизация, порты, суда, государственный портовый контроль, комиссии, пункты пропуска.

Key words: queueing theory, optimization, ports, vessels, government port inspection, commissions, point of passing.

В ХОЗЯЙСТВЕННОЙ практике широко распространены системы, в которых, с одной стороны, возникают массовые запросы (требования) на выполнение каких-либо услуг, с другой — происходит удовлетворение этих запросов (заявок).

Организационно-технические системы, предназначенные для обслуживания массового потока однородных заявок, при ограничениях на ресурсы системы называют системами массового обслуживания (СМО). Характерным примером СМО могут служить склады или базы обслуживания флота, порты [4].

Порт, будучи звеном общей транспортной сети страны, одной из ее подсистем, предназначен для решения двух главных задач — перевалки грузов с водного на сухопутный транспорт и обратно и их хранения в порту; обслуживания флота и подвижного состава сухопутного транспорта, а также грузовладельцев и пассажиров.

Порт выступает одновременно и как предприятие, производящее транспортную продукцию, оцениваемую объемом перегрузочных работ, и как система обслуживания, обеспечивающая нормальное функционирование транспорта.

Для транспорта и, в частности, для портов имеет первостепенное значение организация их работы в оптимальных режимах, обеспечивающих существенное ускорение обработки судов и вагонов, общее снижение себестоимости перевозок.

Продолжительность пребывания судов в портах под загрузкой-разгрузкой, техническим обслуживанием и в ожидании этих операций составляет 50–60 % времени его оборота, а доля стоимости портовых работ в себестоимости перевозок грузов достигает 40–50 %.

Стоянки судов, с одной стороны, обусловлены необходимостью выполнения операций по их обслуживанию, а с другой — являются следствием эксплуатационных условий и организационных

факторов транспортного процесса. Основные операции обслуживания непосредственно связаны с подготовкой судов к выполнению транспортной работы. Другая группа стояночных операций обусловлена применяемой системой организации транспортного процесса и связана с различного рода ожиданиями. Такие операции принято называть технологическими [2].

В составе технологических операций, связанных с обслуживанием транспортного флота в портах, можно выделить операции ожидания грузовыми судами погрузки-выгрузки, комиссий, буксира-кантовщика и т. п.

Причинами возникновения ожиданий могут быть:

- разбалансированность системы, то есть несоответствие значений количественных и качественных характеристик отдельных ее элементов;
- ритмичность, то есть несогласованность выполнения отдельных операций между участниками системы во времени и в пространстве;
- вариативность, то есть отклонение или разброс значений характеристик и показателей системы в результате влияния случайных факторов.

Удельный вес затрат времени на технологические операции в общем бюджете эксплуатационного времени транспортных судов значителен.

На сегодняшний день до трети от общего времени обработки судна у причала приходится на непроводительные операции, а именно: на оформление захода судна государственными контролирующими органами, на документарное сопровождение груза, выполнение других формальностей.

Основные виды государственного портового контроля представлены в табл. 1 [7].

Таблица 1

Основные виды государственного портового контроля

Виды контроля	Органы, осуществляющие контроль
Пограничный контроль	отделение пограничного контроля; государственная морская инспекция ПУ ФСБ России;
Таможенный контроль	таможенный пост
Иммиграционный контроль	пост иммиграционного контроля УФМС России
Санитарно-карантинный контроль	отдел санитарного надзора на транспорте и охраны границы Управления Роспотребнадзора
Карантинно-фитосанитарный контроль	отдел фитосанитарного надзора и по надзору в сфере качества и безопасности зерна и продуктов его переработки Управления Россельхознадзора
Ветеринарный контроль	пограничный ветеринарный контрольный пункт в составе отдела государственного ветеринарного надзора на государственной границе РФ и транспорте Управления Россельхознадзора;
Государственный портовый контроль	инспекция государственного портового контроля ФГУ АМП

В некоторых случаях непроводительные простои судов в портах России сегодня могут равняться времени производственных операций. Именно «комиссионное оформление» и его ожидание во многом являются причиной непроводительных простоев флота, делающие непривлекательными российские порты для судозаходов. В Европе, например, данные процедуры осуществляются во время проведения производственных операций — выгрузки/погрузки [1].

При осуществлении пограничных, таможенных и иных формальностей в пункте пропуска через государственную границу РФ суда могут терять свыше 100 % от времени грузовых операций. В стоимостном отношении данные потери могут составлять, например, для танкеров дедвейтом 120 тыс. т свыше 250 тыс. руб. за сутки [1].

Нормы времени таможенного оформления транспортных судов в зависимости от вида флота и дедвейта в соответствии с типовой схемой организации пропуска через государственную границу, утвержденной приказом Минтранса № 247 от 22.12.2009 г. представлены в табл. 2 [7].

Таблица 2

Время (в ч) таможенного оформления судов

Типы судов	Время работы комиссии контрольных органов (ч) при грузоподъемности судов (т)			
	до 3000	3001–5000	5001–15000	более 15000
Сухогрузные	1,5	2,5	3,0	3,0
Наливные	1,0	1,5	1,5	2,5

С экономической точки зрения такая схема является причиной удорожания стоимости товаров, финансовых потерь участников транспортного процесса, что, в свою очередь, снижает конкурентоспособность российских портов и товаропроизводителей. Причиной непроизводительных простоев транспортных средств, погрузочно-разгрузочной техники и людских ресурсов являются не только недостатки в нормативно-правовом обеспечении, но и низкий уровень оснащенности морских и речных (озерных) пунктов пропуска через государственную границу, что ограничивает количество комиссий государственного портового контроля, требующееся для эффективной работы отечественных морских и речных транспортных узлов [1].

Таким образом, возникает насущная необходимость оптимизации параметров портов как СМО в части обоснования количества комиссий, позволяющего минимизировать непроизводительные простои судов в ожидании обслуживания.

Задачи теории массового обслуживания как математического аппарата исследования СМО сводятся к определению оптимальных соотношений между числом поступающих в систему требований на обслуживание и числом обслуживающих устройств с учетом их характеристик, при которых суммарные расходы на обслуживание и убытки от простоя были бы минимальны.

Методами теории массового обслуживания могут быть решены задачи оптимизации работы порта, связанные с выбором оптимального числа причалов, их механовооруженности и численности обслуживающего персонала [4].

Их можно использовать для обоснования оптимального количества комиссий государственного контроля, обеспечивающих минимум суммарных расходов по флоту и портам.

Рассмотрим морской порт как вариант СМО с ожиданием, когда число мест в очереди неограниченно ($m \rightarrow \infty$). Такие СМО называются «чистыми» СМО с ожиданием, или СМО без потерь, поскольку любая заявка, поступающая на вход такой системы, либо немедленно назначается на обслуживание, если свободен хотя бы один канал обслуживания, либо ставится в очередь на обслуживание, причем из-за неограниченной длины очереди все заявки из входящего потока рано или поздно будут обслужены.

Граф переходов такой СМО приведен на рис. 1.

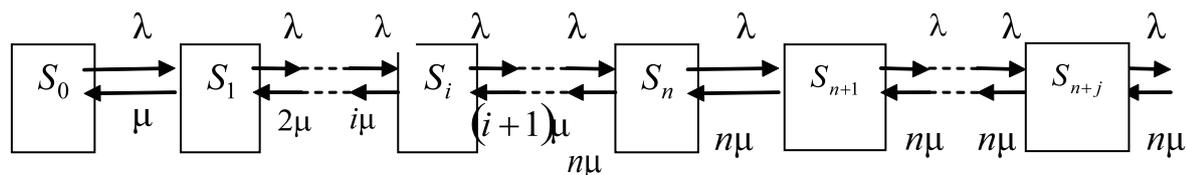


Рис. 1. Граф состояний разомкнутой СМО с неограниченной очередью

Индекс состояния определяет число заявок, находящихся в системе. Число состояний в системе бесконечно велико. Граф на рис. 1 соответствует типовой схеме «гибели и размножения».

Для таких систем предельные вероятности состояний определяются по выражению

$$P_i = \frac{a^i}{i!} P_0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

$$P_{n+j} = \frac{a^n}{n!} \frac{a^j}{n^j} P_0, \quad j = \overline{1, \infty}, \quad (2)$$

$$P_0 = \left[1 + \sum_{i=1}^n \frac{a^i}{i!} + \frac{a^n}{n!} \sum_{j=1}^{\infty} \left(\frac{a}{n} \right)^j \right]^{-1}. \quad (3)$$

Из анализа выражения (2) для P_0 следует, что установившийся режим в СМО существует (предельные вероятности отличны от нуля), если сходится сумма $\sum_{j=1}^{\infty} (a/n)^j$.

Необходимым условием сходимости этой суммы для $a > 0$, $n > 0$ является неравенство $a/n = \lambda/(n\mu) < 1$, то есть когда интенсивность входящего потока λ меньше интенсивности суммарного потока обслуживаний $n\mu$. Невыполнение указанного неравенства приведет к тому, что каналы обслуживания не будут справляться с потоком заявок и длина очереди будет неограниченно возрастать. При условии $\lambda < n\mu$ выражение для P_0 приобретет вид

$$P_0 = \left[1 + \sum_{i=1}^n \frac{a^i}{i!} + \frac{a^{n+1}}{n!(n-a)} \right]^{-1}. \quad (4)$$

В «чистой» СМО с ожиданием потери отсутствуют, поэтому вероятность обслуживания заявок равна единице:

$$P_{об} = 1,$$

интенсивность потока обслуженных заявок совпадает с интенсивностью входящего потока:

$$\lambda^o = \lambda.$$

Процесс поступления в СМО заявок на обслуживание является в общем случае случайным и может рассматриваться как поток однородных событий, происходящих через случайные промежутки времени. Случайные временные интервалы между поступлением заявок могут подчиняться разным законам распределения.

Наибольшее распространение в теории массового обслуживания получил простейший поток заявок, то есть поток, в котором интервал времени между двумя соседними заявками подчинен экспоненциальному закону распределения с интенсивностью λ , что подтверждают обширные исследования транспортного процесса, проведенные такими известными отечественными учеными в области эксплуатации водного транспорта А. С. Бутовым, В. И. Савиным, С. М. Пьяных, В. Н. Трифановым, А. Г. Щелкановым и др. [2; 5]. Функция плотности распределения интервала времени между заявками при этом определяется выражением $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$.

Допущение о простейшем потоке заявок позволяет получать аналитические зависимости характеристик СМО от параметров входящего потока, используя аппарат теории марковских случайных процессов.

На сегодняшний день одним из главных недостатков отечественных морских портов как СМО является недостаточное количество каналов обслуживания (комиссий), что является причиной непроизводительных простоев грузовых судов в ожидании обслуживания. Решение этого вопроса рассмотрим на примере специализированного нефтеналивного порта Приморск и определим оптимальное количество комиссий государственного контроля.

Сведения о ежесуточном поступлении судов в порт Приморск в течение первых четырех месяцев навигации 2010 г. представлены в табл. 3 [9].

Таблица 3

Количество судов прибывших в порт Приморск

Дата	январь	февраль	март	апрель
1	2	1	1	1
2	2	2	3	2
3	1	3	1	6
4	3	2	3	1
5	3	1	2	1
6	2	1	3	1
7	2	2	2	4
8	2	3	1	1
9	1	1	3	1
10	3	0	1	4
11	2	1	2	3
12	3	2	3	3
13	2	1	2	1
14	2	2	3	3
15	2	1	2	5
16	2	2	3	2
17	1	2	5	4
18	3	2	0	2
19	2	3	2	3
20	1	2	1	3
21	0	1	1	6
22	1	2	0	2
23	2	2	1	4
24	2	1	4	0
25	1	4	2	2
26	2	1	3	3
27	1	4	3	4
28	1	1	0	2
29	3	–	2	3
30	5	–	5	1
31	1	–	1	–

Эмпирическая вероятность появления i -го признака определяется по выражению:

$$P_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^{N+1} m_i} = \frac{m_i}{n}; \quad (5)$$

где m_i — частота i -го признака.

Теоретическое значение вероятности появления i -го признака P'_i для закона Пуассона в зависимости от значений x_i и λ — параметра Пуассона, равного $M(x)$:

$$P'_i = e^{-\lambda} \frac{\lambda^{x_i}}{x_i!} \text{ — формула Пуассона;} \quad (6)$$

где x_i — i -е значение количества поступивших в порт судов; m'_i — теоретическое значение частоты по закону Пуассона; χ^2 — критерий Пирсона.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N+1} \frac{(m_i - m'_i)^2}{m_i}. \quad (7)$$

Среднее значение (математическое ожидание) интенсивности поступления судов в порт:

$$M(x) = \sum_{i=1}^{N+1} P_i x_i = \lambda, \quad (8)$$

$$M(x) = 1,9$$

а дисперсия:

$$D(x) = M(x^2) - [M(x)]^2 = \sum_{i=1}^{N+1} P_i x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N+1} P_i x_i\right)^2, \quad (9)$$

$$D(x) = 2,423.$$

По таблице значений функции распределения $F(\chi^2)$ найдем критическое значение χ^2 при числе степеней свободы, равном [8]

$$k = l - 1 - r, \quad (10)$$

где l — число различающихся значений x_i ,

$$k = N + 1, \quad (11)$$

r — количество параметров теоретического закона.

Для закона Пуассона используется один параметр $\lambda = M(x)$, то есть в этом случае $r = 1$. Результаты расчета представлены в табл. 4.

По рассчитанному значению критерия Пирсона χ^2 можно сделать вывод о возможности замены эмпирического распределения числа поступающих в порт судов теоретическим законом распределения Пуассона, так как эмпирическое значение χ^2 не превышает теоретическое с доверительной вероятностью 0,99 и числом степеней свободы $k = 5$ $\chi^2 \leq \chi^2_{(0,99; 7-1-1)} = 16$.

В 2010 г. в порту было обработано 935 танкеров. Интервалы времени между поступлениями судов представляют случайную величину $t_{\text{п}}$, распределенную по экспоненциальному закону с интенсивностью $\lambda_{\text{с}}$, характеризующей среднее число судов, прибывающих за сутки.

Оформление прихода/отхода судов осуществляется одной комиссией госконтроля. Продолжительность времени оформления $T_{\text{оф}}$ подчинена экспоненциальному закону распределения со средним значением $M(T_{\text{оф}}) = \overline{t_{\text{оф}}} = 5$ ч.

Таблица 4

Расчет значения критерия Пирсона

x_i	m_i	P_i	$P_i x_i$	$P_i x_i^2$	P'_i	m'_i	$(m_i - m'_i)^2$	$(m_i - m'_i)^2 / m_i$
0	6	0,050	0	0	0,13	14	64	10,67
1	36	0,30	0,3	0,3	0,27	31	25	0,69
2	39	0,33	0,65	1,3	0,27	32	49	1,26
3	24	0,20	0,6	1,8	0,18	23	1	0,04
4	9	0,08	0,3	1,2	0,09	13	16	1,78

Таблица 4
(Окончание)

5	4	0,03	0,05	0,833	0,04	5	1	0,25
6	2	0,02	0,033	0,6	0,01	2	0	0,00
	$\sum m_i = n = 120$		$\sum P_i x_i = 1,9$	6,033		120		$\chi^2 = 15$

Суточное содержание типового танкера дедвейтом 120 тыс. т составляет $R_c = 823\,530$ (руб.) [8], суточное содержание комиссии — $R_k = 45\,000$ (руб.) [9].

Моделью рассматриваемой системы может служить разомкнутая СМО без отказов, имеющая следующие параметры:

- число каналов (комиссий) — n ;
- число мест в очереди не ограничено — $m \rightarrow \infty$;
- интенсивность входящего потока — $\lambda_c = 3$ (судов/сут);
- интенсивность оформления судов — $\mu = \frac{24}{t_{\text{оф}}} = \frac{24}{5} = 4,8$ (судов/сут).

Необходимо определить оптимальное количество комиссий для оформления прибывающих грузовых судов.

Для устойчивой работы разомкнутой СМО с неограниченной очередью необходимо выполнение условия: $\lambda < n\mu$. Отсюда минимальное количество комиссий (каналов обслуживания) n_{\min} определяется из условия

$$n_{\min} = \left[\frac{\lambda}{\mu} \right], \quad (12)$$

в этом соотношении выделяется целая часть, и округление выполняется в большую сторону, то есть для рассматриваемого примера $n_{\min} = 2$.

Среднее время ожидания оформления $\overline{t_{\text{ож}}}$ определяется по выражению

$$\overline{t_{\text{ож}}} = \frac{a^n}{\mu(n-1)!(n-a)^2} P_0, \text{ сут}, \quad (13)$$

где $a = \frac{\lambda}{\mu} = 0,63$ — приведенная интенсивность входящего потока; P_0 — вероятность состояния СМО, в котором отсутствуют заявки в системе, то есть каналы обслуживания и очередь пусты. Вероятность такого состояния определяется выражением

$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{a^i}{i!} + \frac{a^{n+1}}{n!(n-a)}}. \quad (14)$$

Суточные затраты на содержание комиссий r_k и грузовых судов r_c за время обслуживания и его ожидания составят:

$$r_k = n \cdot R_k, \text{ руб.} \quad (15)$$

$$r_c = \lambda(\overline{t_{\text{ож}}} + \overline{t_{\text{оф}}})R_c, \text{ руб.} \quad (16)$$

Суммарные затраты определяются по выражению

$$R = r_k + r_c, \text{ руб.} \quad (17)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 5.

Оптимальное количество комиссий определяется при минимальном значении целевой функции — $R \rightarrow \min$ [8], тогда при $n = 3$ суммарные расходы по флоту и порту будут минимальны, то есть оптимальное значение целевой функции достигнуто.

Таблица 5

Суммарные затраты по флоту и порту при разном количестве комиссий государственного контроля в порту Приморск

Количество комиссий госконтроля (n)	1	2	3	4
Среднее время оформления, сут	0,21	0,21	0,21	0,21
Среднее время ожидания оформления, сут	0,29	0,03	0,0	0,0
Затраты на содержание комиссий (r_k), руб./сут	45 000	90 000	135 000	180 000
Затраты на содержание судов (r_c), руб./сут	1408236,3	592941,6	526235,67	519565,08
Суммарные затраты (R), руб.	1453236,3	682941,6	661235,67	699565,08

Список литературы

1. Бабурин В. А. Организационно-правовые проблемы обслуживания судов в российских портах (последствия и способы решения) / В. А. Бабурин // Водный транспорт России: Инновационный путь развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 6–7 октября 2010 г. — СПб.: СПГУВК, 2010. — 331 с.
2. Техничко-технологическое нормирование на водном транспорте: учеб. пособие / В. А. Бабурин [и др.]. — 2-е изд., доп. — СПб.: Издат. дом «Мирь», 2006. — 110 с.: ил.
3. Бабурин В. А. Управление грузовыми перевозками на водном транспорте / В. А. Бабурин, Н. В. Бабурин. — СПб.: Издат. дом «Мирь», 2007. — 304 с.
4. Бабурин В. А. Экономико-математические методы и модели в управлении водным транспортом. Системы массового обслуживания: учеб. пособие / В. А. Бабурин, Т. И. Полянская, И. Д. Шилкина. — СПб.: СПГУВК, 2009. — 113 с.
5. Савин В. И. Математические методы оптимального планирования работы флота и портов / В. И. Савин. — М.: Транспорт, 1969. — 168 с.
6. Об утверждении Типовой схемы организации пропуска через государственную границу Российской Федерации лиц, транспортных средств, грузов, товаров и животных в морских и речных (озерных) пунктах пропуска через государственную границу Российской Федерации: приказ Минтранса РФ от 22.12.2009 г. № 247.
7. ЦНИИМФ. Морской флот. Техничко-экономические характеристики: справ. — 2009.
8. <http://www.mbsz.ru/themes/04.php>
9. <http://www.ptport.ru>

**ФИНАНСИРОВАНИЕ УСЛУГ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ
НА ВНУТРЕННЕМ ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ****FINANCING OF SERVICES OF TECHNOLOGICAL COMMUNICATION ON
INLAND WATERWAYS TRANSPORT**

*В статье рассматриваются основные проблемы финансирования услуг технологической связи.
This article considers the problems of financing to provide services of technological communication.*

Ключевые слова: технологическая связь, себестоимость, транспорт, тарифная политика, финансирование.

Key words: process of communication, cost of production, transport, tariff policy, financing.

О ТЕЧЕСТВЕННАЯ система связи внутреннего водного транспорта была создана в 1940–1960-е гг. и получила основное развитие в 1970–1980-х гг.

В послевоенные годы ведомственная система связи речного флота, кроме обеспечения процесса диспетчерского управления судоходством, была вынуждена восполнять дефицит услуг обычной телефонной и телеграфной связи, вызванный общим состоянием послевоенной экономики СССР. В некоторых населенных пунктах, расположенных около водных трасс, «речная связь» была единственной, заменяя связь общего пользования Министерства связи СССР. По указанным причинам система ведомственной связи речного флота выполняла и продолжает выполнять «непрофильные» функции в части предоставления услуг связи организациям и населению, несмотря на то что в 1990-х гг. дефицит услуг связи общего пользования был в основном преодолен.

Основным мотивом, вынуждающим предприятия и структурные подразделения связи речного флота оказывать «непрофильные» услуги, является необходимость получения дополнительных доходов для покрытия расходов на основную уставную деятельность — технологическую связь речного флота.

Основные услуги, предоставляемые предприятиями и структурными подразделениями связи речного флота, можно условно разделить на две основные группы — *технологическую связь и передачу общественной корреспонденции*.

Группа «технологическая связь» включает в себя две подгруппы — связь безопасности и бедствия и связь управления движением (диспетчерское регулирование). Подразумевается, что именно эти услуги обязаны оказывать бассейновые узлы связи на внутреннем водном транспорте. Отсюда следует, что эти услуги предоставляются предприятиями связи речного флота монопольно.

Поскольку технологическая связь обслуживает транспортный процесс и системы безопасности, то затраты на ее организацию должны относиться на себестоимость транспортных услуг, содержание систем безопасности и диспетчерского регулирования движения судов. Судоходные компании обязаны пользоваться этими видами связи, оборудовать суда соответствующими техническими средствами, выполнять инструкции и протоколы взаимодействия.

Главными условиями безопасности судоходства являются:

— наличие радиосвязи между судами и берегом (диспетчерскими службами бассейновых органов государственного управления на внутреннем водном транспорте, районов водных путей, судопропускных гидросооружений и судоходных компаний);

— наличие телефонной и документальной связи между смежными диспетчерскими службами;

— наличие радиосвязи между судами;

— наличие контроля эфира на частотах бедствия, безопасности и вызова;

Важнейшей составляющей в вопросах безопасности и эффективности судоходства, охраны человеческой жизни и окружающей среды на ВВП РФ является создание систем обеспечения безопасности судоходства, в состав которых входят:

1) технологическая связь: системы УКВ, ПВ/КВ и спутниковой связи — для обеспечения голосовой связи на каналах бедствия, срочности и вызова. Технологическая связь является одним из основных элементов систем обеспечения безопасности судоходства;

2) системы управления движением судов (СУДС) (системы диспетчерского регулирования движением судов), использующие:

— автоматические идентификационные системы (АИС) для автоматического обмена информацией, в том числе навигационной, между судами и береговыми службами и обеспечения контроля за судоходством;

— береговые радиолокационные станции, обеспечивающие непрерывный контроль за движением судов и соблюдением правил плавания на всей акватории региона;

— подсистемы передачи путевой и гидрометеорологической информации;

— подсистемы высокоточного определения местоположения судов, использующие глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) ГЛОНАСС/GPS и их дифференциальные дополнения;

3) электронные картографические системы.

Ведомственная система связи речного флота прошла период реформирования, связанный с процессами приватизации и экономическими реформами в целом.

Предприятия и подразделения связи речного транспорта предоставляют весьма широкий спектр услуг: от специфических услуг «речной» связи до услуг связи общего пользования, конкурируя при этом с другими операторами связи.

Финансирование предприятий и подразделений связи (возмещение расходов на содержание инфраструктуры) производится по самым различным схемам. Отсутствует единая тарифная политика и нормативы возмещения расходов на связь. Существенные различия между бассейнами в объеме приводят к различным методам финансирования предприятия, обеспечивающего связью данный бассейн. При этом должны быть соблюдены стандарты безопасности судоходства и диспетчерского регулирования движением судов.

Из всего спектра услуг связи наибольшую важность приобретает комплекс услуг технологической связи.

Обеспечение технологической связи организаций внутреннего водного транспорта осуществляется бассейновыми органами государственного управления на внутреннем водном транспорте за счет средств федерального бюджета, доходов от собственной деятельности, а также других не запрещенных законом источников.

Бассейновый узел связи в составе ГБУ обязан обеспечивать технологическую связь в данном бассейне.

Поскольку технологическая связь обслуживает транспортный процесс и системы безопасности, то затраты на ее организацию должны относиться на себестоимость транспортных услуг, содержание систем безопасности и диспетчерского регулирования движения судов. Судоходные компании обязаны пользоваться этими видами связи, оборудовать суда соответствующими средствами, выполнять инструкции и протоколы взаимодействия.

Финансирование должно обеспечивать компенсацию расходов БУС на содержание всех видов связи в интересах ГБУВПиС, в том числе обязательств ГБУВПиС по обеспечению безопасности судоходства и управления движением судов (то есть технологической связи) и обычной учрежденческой связи предприятия.

Существует проблема распределения расходов при определении размера платы за услуги технологической связи.

В 2000 г. ЦНИИЭВТом был разработан проект документа «Методические указания по расчету ставок платы за услуги, оказываемые ГБУВПиС в составе функций государственного регулирования и управления транспортным процессом. В проекте были детально рассмотрены принципы и методы расчета, уточнен и несколько расширен перечень услуг. Предлагалось разделить на две группы ГБУВПиС по среднему уровню ставок за услуги. В первую группу с более низкими ставками включались ГБУВПиС : Волго-Балтийское, Волжское, Камское, Волго-Донское, Азово-Донское, Кубанское и ГП «Канал им. Москвы». Во вторую группу с более высокими ставками предлагалось объединить следующие ГБУВПиС: Беломорско-Онежское, Северо-Двинское, Печорское, Ленское, Обь-Иртышское, Обское, Енисейское, Амурское, Байкало-Ангарское.

Документ не был утвержден, тем не менее принципиальный подход к расчету ставок за услуги используется на практике.

Процедура расчета расходов (себестоимости) БУС по оказанию услуг технологической связи в настоящее время состоит из следующих последовательных этапов:

1. Калькуляция себестоимости, отнесение косвенных расходов на различные услуги.
2. Определение укрупненной единицы услуги технологической связи.
3. Расчет себестоимости укрупненной единицы услуги, исходя из трудозатрат производственного персонала и с учетом заданных нормативных коэффициентов, отражающих реальные экономические особенности данного ГБУВПиС.
4. Расчет расходов на содержание «канала безопасности».

Остается актуальным вопрос о разработке методики по расчету платы за услуги технологической связи речного транспорта.

Список литературы

1. Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации: принят Государственной Думой 7 февраля 2001 г.
2. О связи: федер. закон Рос. Федерации: принят Государственной Думой 18 июня 2003 г.
3. О естественных монополиях: федер. закон Рос. Федерации: принят Государственной Думой 17 августа 1995 г.
4. *Голубицкая Е. А.* Экономика связи: учебник для вузов / Е. А. Голубицкая, Г. М. Жигульская. — М.: Радио и связь, 2000.
5. Отчет о научно-исследовательской работе. — СПб., 2003.

**РОССИЙСКИЙ И ЕВРОПЕЙСКИЙ РЫНКИ ВОДНЫХ ПЕРЕВОЗОК
В УСЛОВИЯХ ЧЛЕНСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В ВТО****THE RUSSIAN AND EUROPEAN MARKETS OF THE WATER TRANSPORTATIONS
IN THE CONDITIONS OF MEMBERSHIP OF THE RUSSIAN FEDERATION
IN THE WTO**

В статье дана оценка влияния членства РФ в ВТО на рынок внутренних водных перевозок. Проведен анализ перспектив освоения РФ европейских рынков речных и каботажных перевозок.

In the article the estimation of influence the membership of the Russian Federation in the WTO on the market of internal water transportations is given. The analysis of prospects of development of the Russian Federation of the European markets of river and coasting transportations is carried out.

Ключевые слова: новые возможности и риски, структура водных перевозок, районы плавания, рынок экспортных и импортных перевозок.

Key words: new possibilities and risks, structure of carriages by water, navigation areas, the market of export and import transportations.

ВСТУПЛЕНИЕ России во Всемирную торговую организацию (ВТО) в 2012 г. сохраняет систему двусторонних соглашений по допуску иностранных судов и перевозчиков к внутренним водным путям. В сфере морских перевозок обязательства в ВТО также не меняют существующие условия доступа иностранных поставщиков на рынок. В предыдущие годы была сформирована достаточная правовая основа межправительственных соглашений, в которых уже предусмотрено предоставление национального режима судам другой страны в морских портах России. По внутреннему водному транспорту обязательства приняты только в отношении вспомогательных услуг, таких как уборка, дезинфекция, контроль за насекомыми.

Тем не менее опросы российских перевозчиков показывают, что готовыми к членству в ВТО считают себя лишь 10 % транспортных компаний. Присоединение России к ВТО повлечет за собой как новые возможности, так и явные риски для судоходного бизнеса страны. С одной стороны, ожидается рост внешнеторгового обмена и соответственно грузооборота, вместе с тем остро обостряются вопросы конкурентоспособности российских судоходных компаний.

Вступление РФ в ВТО, по оценкам специалистов, повлечет за собой рост тарифов на энерго-ресурсы. Следует учитывать тот факт, что цены на дизельное топливо в России только за период с 2005 по 2010 г. выросли на 235 % — это в 10 раз больше, чем составил рост цен за тот же период в европейских странах. В связи с этим себестоимость перевозок и затраты на смазочные материалы выросли на 60 %. Учитывая, что российские речные суда имеют в основном тихоходные двигатели, расходующие на 20–30% больше топлива, чем современные двигатели западных судов, приближение цен на топливо к общемировому уровню поставит российский флот в крайне сложные конкурентные условия. Последующая за вступлением в ВТО унификация тарифов на водном транспорте лишь усугубит ситуацию.

Открытие внутреннего рынка, по оценкам аналитиков, негативно скажется на таких отраслях, как легкая и пищевая промышленность, производство лекарств, медицинского оборудования, электроники, автомобильной промышленности, гражданское авиастроение, производство косметики и шин. Особенно пострадает агропромышленный комплекс. Однако от вступления в ВТО однозначно выиграет сырьевой сектор экономики. Снятие ограничений должно положительно сказаться в отношении ориентированных на экспорт металлургических компаний. В ближайшей перспективе отечественные нефтегазовые, угольно-добывающие, металлургические и прочие предприятия сырьевого сектора получат значительное облегчение сбыта на внешнем рынке. Продукция добывающей промышленности традиционно привлекательна для водного транспорта в качестве грузовой базы (рис. 1).

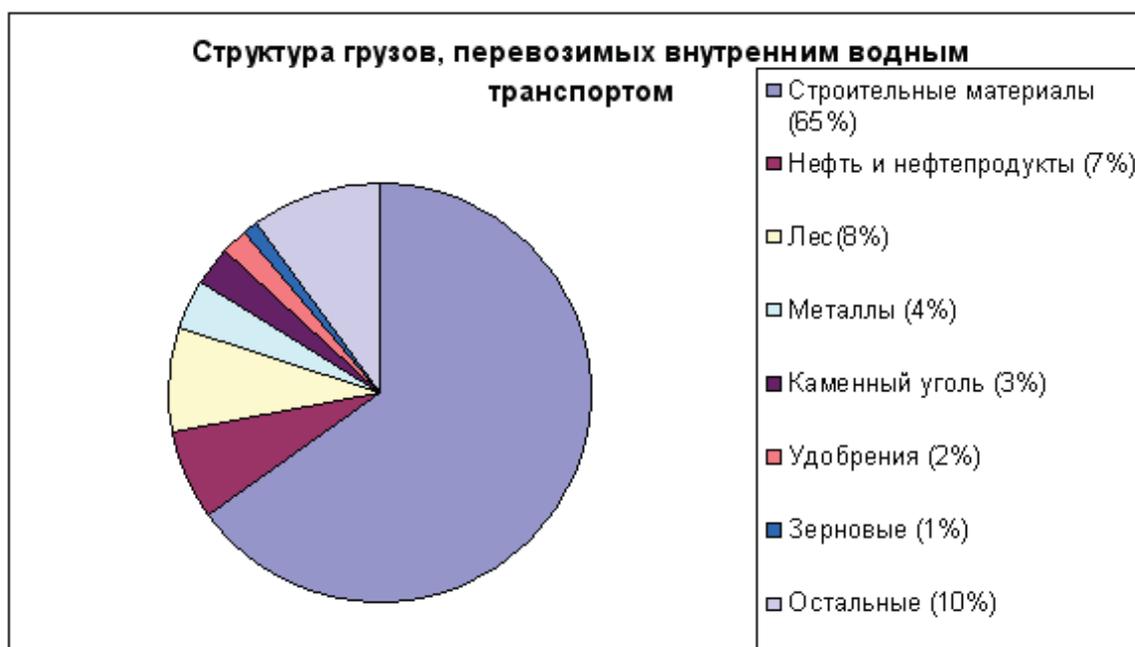


Рис. 1. Структура грузов, перевозимых внутренним водным транспортом

Увеличение внешнеторгового оборота сырьевой промышленности повлечет за собой рост перевозок продукции данной отрасли на водном транспорте.

Несмотря на то что членство в ВТО не подразумевает полного открытия российского рынка водных перевозок, в 2010 г. Правительством РФ был одобрен и принят к исполнению комплекс мер по открытию внутренних водных путей Российской Федерации для плавания судов под флагами иностранных государств.

В настоящее время не существует международно-правового документа, предусматривающего свободный доступ ко всем внутренним водным путям в регионе ЕЭК ООН. Однако интеграционные процессы и создание общеевропейской системы внутренних водных путей, в конечном итоге, приведут к утверждению принципа свободы судоходства и обеспечения свободного и равного доступа к рынкам внутреннего судоходства европейской части континента.

Для России освоение перевозок по водному пути Волга–Дон–Дунай–Майн–Рейн особенно перспективно. Этот путь способен обеспечить связь с европейскими странами, не имеющими прямого выхода к морю. Значение Дунайско-Волго-Донского пути существенно возрастет при его взаимодействии с Каспийским бассейном, где можно обеспечить эффективную стыковку европейских и азиатских транспортных систем. При этом необходимо учитывать особенности районирования по перевозимым грузам. Перевозка сырья и материалов металлургической промышленности имеет большое значение на Мозеле, Дунае, Рейне и по внутренним водным путям Германии.

Перевозка сырой нефти, нефтепродуктов и химических грузов осуществляется преимущественно по Рейну, Роне и внутренним путям Франции. Сельскохозяйственная продукция перевозится в значительном количестве по внутренним водным путям Германии, Люксембурга и Франции. В Финляндии по рекам в основном перевозится древесина.

Современное состояние грузовой базы по внешнеторговым перевозкам на Дунае оценивается как удовлетворительное и колеблется в районе 25 млн т. В настоящее время перевозки грузов речным российским флотом на Дунае незначительны и в основном осуществляются в направлении морских черноморских портов Румынии, Болгарии и Украины (около 1,0 млн т). Дополнительная грузовая база в придунайские страны на период до 2015 г. реально может складываться из трех составляющих:

1. Дополнительные грузопотоки из Сибири и Урала:

— уголь, кокс Кузбасса;

— лесоматериалы из Красноярского края, Томской и других областей Сибири;

— алюминий из Красноярского края, Братска, калийные удобрения с Урала;

— жидкие удобрения из Тольятти, Череповца;

— нефть и нефтепродукты из Каспийского бассейна;

— сера и сжиженный газ из Астраханского НПЗ и Казахстана и т. д.

2. Переключение российских грузопотоков с портов Украины и железнодорожного транспорта (при поддержке Минтранса РФ) — 5 млн т.

3. Соединение российской железной дороги через Азербайджан с портами Ирана даст возможность привлечь дополнительные грузопотоки большегрузных контейнеров в южном направлении, в том числе в придунайские страны — 3,0–4,0 млн т.

Таким образом, перспективная грузовая база экспортно-импортных перевозок из России и европейско-азиатский транзит в придунайские страны может составить 15,0–16,0 млн т. С учетом строительства канала «Евразия» эти объемы перевозок могут возрасти до 20–25 млн т.

Транспортные грузопотоки на участке Волга–Дон–Черноморский бассейн–Дунай дают возможность взаимодействия транспортных коридоров (№ 2, 5, 7, 9), «Север–Юг», «Запад–Восток», а также транспортных систем ЭСКАТО, ТРАСЕКА и др.

Все эти направления могут осваиваться системой прямых бесперевалочных перевозок с использованием судов река–море, лихтеровозной системы, морских баржебуксирных составов, исходя из конкретных наиболее оптимальных транспортно-технологических схем.

Ожидается, что в ближайшие годы рынок европейских Short Sea Shipping перевозок (на коротком плече) будет активно развиваться, а одними из лидеров могут стать перевозки из портов Черного и Азовского морей, чему будет способствовать строительство новых перегрузочных мощностей в регионе и потенциал роста российского, украинского и казахского экспорта.

Жидкие грузы (liquid bulk) составляют основу грузовой базы, перевозимой Short Sea Shipping из/в страны ЕС — на них в 2009 г. пришлось почти половина (971 млн т) всех перевозимых грузов, на втором месте идут сухие навалочные грузы (dry bulk), которых было перевезено 398 млн т, еще 153 млн т составили перевозки генеральных грузов (other cargo). Рисунок 2 дает общее представление об объемах перевозимых грузов Short Sea Shipping в 2009 г.

Рынок перевозок навалочных и генеральных грузов в направлении European coastal trade является самым емким из всех рынков для большинства российских судоходных компаний. Отличительной особенностью данного рынка являются, с одной стороны, высокий уровень конкуренции, с другой — большое количество клиентов.

Наличие у мелкотоннажных теплоходов European coastal trade субституты в лице крупнотоннажных теплоходов оказывает небольшое влияние на этот вид бизнеса, что обусловлено исторически сложившимися грузопотоками (как для одних, так и для других тоннажных групп) и относительно небольшой долей грузов. Эти грузопотоки, в зависимости от конъюнктуры рынка, тяготеют к одной или другой тоннажной нише. Тем не менее фрахтовый рынок крупнотоннажных теплоходов все же оказывает определенное влияние на отрасль. Несмотря на то что прямой корре-

ляции нет, с определенной долей уверенности можно сказать, что вследствие многофакторности такой величины, как фрахтовая ставка, падение ставок для крупнотоннажных теплоходов все же отразится на фрахтовых ставках небольших теплоходов.

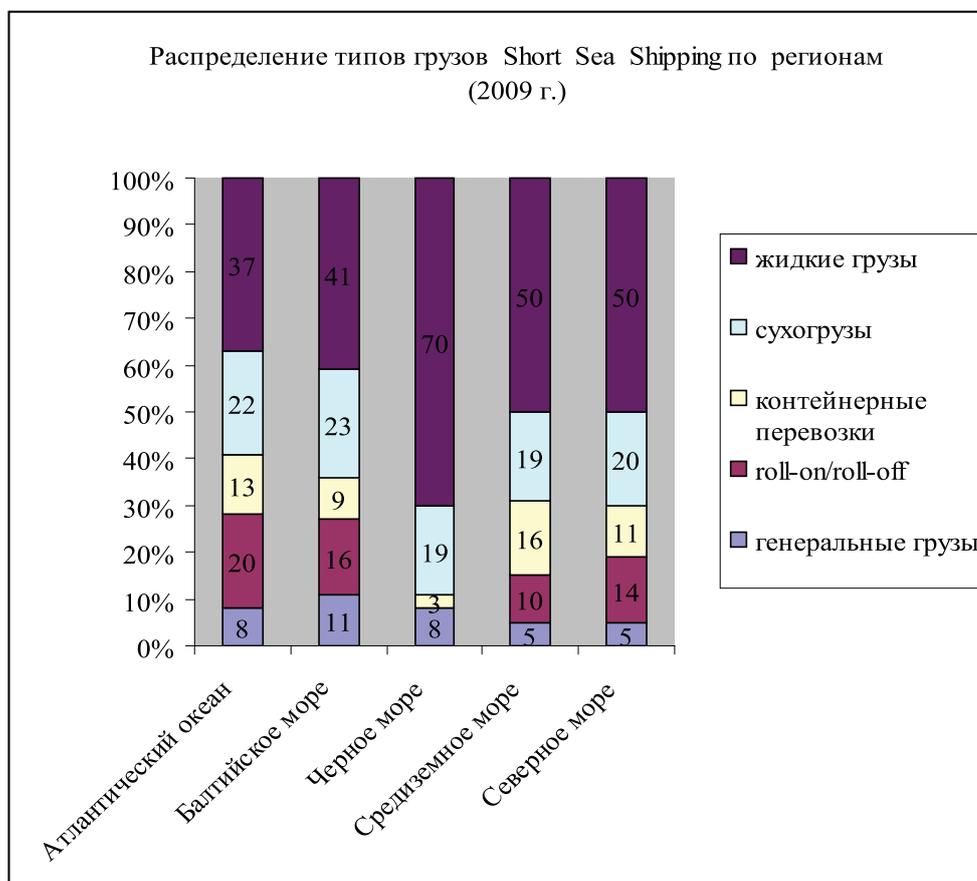


Рис. 2. Объемы перевозимых грузов Short Sea Shipping

Рынок перевозок между иностранными портами для российских судоходных компаний является менее рентабельным, чем рынок экспортных перевозок. Но возможные риски, связанные с простым, нивелируются большим количеством клиентов и устоявшимися, относительно стабильными и прогнозируемыми объемами грузоперевозок. Также важным фактором работы на рынке между иностранными портами является относительно небольшое влияние сезонности.

Рынок экспортных перевозок характеризуется меньшей емкостью рынка, меньшим количеством грузовладельцев и большим влиянием сезонности, что в конечном итоге позволяет получить меньшую оценку привлекательности отрасли.

Рынок импортных перевозок похож на рынок экспорта по интенсивности конкуренции, темпу роста отрасли, но в то же время значительно проигрывает ему как по емкости рынка, так и по прибыльности.

Количество потребителей (грузовладельцев) на европейском рынке и рынке, который характерен для перевозок в российском экспорте и импорте, отличается по количеству доминирующих компаний. Меньшее количество грузовладельцев на российском рынке приводит к большей рыночной силе потребителя и автоматически усиливает силу давления на перевозчика на российском рынке (как результат, высокая сила давления). В случае с европейским рынком, где потенциальных грузовладельцев на порядок больше, сила давления на отрасль — средняя. Европейские судоходные компании находятся в более выгодном положении при выборе и работе с клиентами.

Основными факторами, увеличивающими интенсивность конкуренции и, как следствие, давление внутри отрасли европейских перевозчиков являются: низкие темпы роста отрасли перевозок в European coastal trade (3–5 %) и наличие большого количества конкурентов. При этом сила давления высокая, несмотря на наличие востребованных на этом рынке долгосрочных контрактов и потребности в отправке сотен тысяч тонн грузов, которые снижают давление в отрасли.

Российский рынок судоходных компаний в большей степени ориентирован на перевозки из российских, украинских и балтийских портов. Он характеризуется более высоким потенциалом темпов роста отрасли вследствие повышения спроса на перевозки (ожидается рост экспорта по целому ряду навалочных и генеральных грузов), что позволяет рассматривать для данного рынка силу давления как среднюю.

В целом, можно констатировать, что рынок экспортных перевозок, как и рынок перевозок между иностранными портами, позволяет отметить успешное освоение данных направлений судами российских судоходных компаний.

Таким образом, членство России в ВТО позволяет нашей стране интегрироваться в мировой транспортный рынок. При этом российским судоходным компаниям необходимо обеспечить доступ к европейскому рынку внутреннего судоходства и равные условия конкуренции с иностранными судоходными компаниями. Но для этого необходимо пополнять флот пароходств новыми высокотехнологичными судами.

Список литературы

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г.
2. Булов А. А. Развитие перевозок и конкурентоспособность судов река–море плавания нового поколения / А. А. Булов, Д. Р. Воронцова // Журнал университета водных коммуникаций. — 2012. — Вып. 1 (13).
3. <http://portnews.ru>
4. <http://www.rbc.ru>
5. <http://www.garant.ru>
6. <http://www.loglink.ru>
7. <http://www.riverfleet.ru>
8. <http://www.rivtrans.com>

УДК 338.47:656.615.073

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

ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКИХ АЛЬТЕРНАТИВ И ВЫБОР ГЕНЕРАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИТОРСКОЙ КОМПАНИИ

FORMATION OF STRATEGIC ALTERNATIVES AND CHOICE OF GENERAL STRATEGY OF FORWARDING COMPANIES DEVELOPMENT

Процесс стратегического планирования необходим для транспортных компаний, работающих в конкурентной среде. В данной статье анализируются стратегии развития транспортно-экспедиторских компаний.

Рассмотрены различные методы выбора стратегий предприятия. Мы предложили использовать модифицированный матричный метод Шелла в транспортно-экспедиторской деятельности. В основе данного метода лежит оценка конкурентоспособности экспедиторской компании и анализ привлекательности рыночного сектора.

Process of strategic planning is necessary for transport companies working in competitive environment. In this article we have analysed strategies of forwarding companies development.

The different methods of strategy choice are examined in this article. We have offered modifying matrix method, proposed by Shell, to use in forwarding activity. There are estimation of competitive ability of forwarding company and analysis of market attraction on the base of this methods.

Ключевые слова: транспортно-экспедиторские услуги, генеральная стратегия развития, матричные методы, конкурентоспособность, привлекательность рынка.

Key words: forwarding services, general strategy of development, matrix methods, competitive ability, market attraction.

У СЛОВИЯ централизованного управления народным хозяйством не подразумевали, что стратегическое управление предприятием будет осуществляться непосредственно его руководством. Основные стратегические решения принимались в отраслевых министерствах и ведомствах. Руководство предприятий лишь исполняло эти решения. В настоящее время в ситуации конкурентного рынка предприятия самостоятельно должны принимать собственные стратегические решения и нести ответственность за последствия этих решений.

Целью данной статьи является формулировка возможных стратегических решений дальнейшего развития транспортно-экспедиторской компании и предложение методики для выбора оптимальной генеральной стратегии.

Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи:

- проанализировать различные определения понятия «стратегия развития»;
- рассмотреть различные классификации стратегий развития предприятия, предлагаемые зарубежными и российскими экономистами;
- сформулировать возможные стратегии развития транспортно-экспедиторской компании;
- рассмотреть методы формирования стратегических альтернатив;
- предложить метод для выбора генеральной стратегии транспортно-экспедиторской компании.

В экономической литературе приведены различные формулировки понятия «стратегия развития предприятия». Они были проанализированы автором данной статьи, и на основе этого анализа предложена своя трактовка данного понятия. Так, в работе [10] приведено следующее определение: «Стратегия — образ организационных действий и управляющих подходов, используемых для достижения организационных задач и целей организации».

В журнале «Маркетинг» приведено определение, использующее понятийный аппарат теории систем: «Стратегия представляет собой процесс определения и установления связи системы с ее окружением, состоящий в реализации выбранной цели и в попытках достичь желаемого состояния системы посредством оптимального распределения ресурсов» [1, с. 37].

Особого внимания, на наш взгляд, заслуживает определение, приведенное д-ром экон. наук А. В. Коротковым в работе [5, с. 89–99]. Автор выделяет два типа стратегии и кратко дает их определения: «общая стратегия — генеральное направление, частная — ответ на вопрос: «Что делать?». Основываясь на таком делении, автор данной статьи предлагает следующие определения. Генеральная стратегия — направление развития компании в каждой стратегической зоне хозяйствования. Частная стратегия — комплекс конкретных действий по реализации общей стратегии для достижения целей организации. В данной статье рассматриваются генеральные стратегии.

Одним из основных критериев классификации стратегий предприятия является уровень принятия решений. По данному критерию стратегии делятся на корпоративные, деловые (конкурентные), функциональные и операционные. Корпоративные стратегии представляют собой общий план управления предприятия в целом. Деловая или конкурентная стратегия связана с деятельностью компании в одной стратегической зоне хозяйствования. Функциональная стратегия осуществляется внутри подразделения: производства, маркетинга, персонала, финансов и т. д. Операционная стратегия относится к области оперативных задач, возникающих ежедневно.

В данной статье уделяется внимание конкурентным стратегиям. При этом под стратегической зоной хозяйствования в транспортном экспедировании понимается сектор рынка, на котором работают транспортно-экспедиторские компании со схожим набором услуг и специализирующиеся на обслуживании определенной группы грузов (наливные, навалочные, генеральные). При этом совокупность экспедиторских компаний в одной зоне хозяйствования будет являться, по М. Портеру, стратегической группой конкурентов.

В современной зарубежной и российской экономической литературе представлено большое количество классификаций понятия «стратегии развития предприятия». Наряду с этим существует также большое количество перечней стратегий, которые авторы называют классификациями, но фактически они таковыми не являются. Понятие «классификация» предполагает наличие определенных критериев, согласно которым осуществляется деление изучаемого понятия.

Базовые конкурентные стратегии были определены М. Портером. Данные стратегии являются универсальными. Это — стратегия лидерства по издержкам, стратегия дифференциации продукции и стратегия фокусирования рынка. Стратегия лидерства по издержкам позволяет достигать себестоимости продукции меньшей, чем у конкурента, за счет внутренних преимуществ, а также использования управленческих и производственных инноваций. Дифференциация продукции основана на спросе товаров более высокого качества. Стратегия фокусирования представляет собой концентрацию усилий на каком-либо сегменте рынка с целью более полного удовлетворения потребностей покупателей. Эта стратегия может основываться на дифференциации либо на лидерстве по издержкам, либо на том и другом, но в рамках целевого сегмента [1, с. 39].

В экономической литературе встречается также «биологический» подход к классификации стратегий [1, с. 40]. В соответствии с этой теорией существуют четыре стратегии: силовая (стратегия доминирования на рынке), пациентная (нишевая стратегия, основанная на выпуске ограниченного количества продукции высокого качества), коммутантная (стратегия, направленная на максимально быстрое удовлетворение небольших по объему, кратковременных потребностей), эксплерентная (стратегия, связанная с радикальными нововведениями).

Достаточно распространенным критерием классификации стратегий является характер развития предприятия. По данному критерию стратегии делятся на следующие группы:

- стратегия наступления, направленная на расширение рыночной доли и завоевание новых рыночных сегментов;
- стратегия обороны, которая имеет целью удержание существующей рыночной доли;
- стратегия отступления, заключающаяся в уходе с рынка или в ликвидации данного бизнеса [2, с. 145]. К такой же классификации относится деление стратегий на стратегии ограниченного роста, роста и ликвидации [11, с. 277–279]. Несколько отличается классификация стратегий развития бизнеса, по Котлеру [6, с. 37], содержащая деление на стратегии концентрированного роста, стратегии интегрированного роста, стратегии диверсифицированного роста и стратегии сокращения, хотя и проводится по тому же основанию.

Одной из известных моделей разработки стратегий является матрица И. Ансоффа «продукт–рынок» [6, с. 42]. Здесь различаются четыре стратегии:

- проникновение на рынок (увеличение рыночной доли на старых рынках с помощью существующей продукции);
- освоение рынка (внедрение на новые рыночные сегменты с помощью существующей продукции);

- разработка продукта (разработка новой продукции для старых рынков);
- диверсификация (разработка новой продукции для новых рынков).

Особого внимания, на наш взгляд, заслуживает матрица, разработанная консультационной группой МакКинзи (McKinsey) совместно с корпорацией «Дженерал электрик» (“General Electric”) [9]. Разработка стратегии в данном методе проводится в зависимости от привлекательности стратегической зоны хозяйствования и конкурентной позиции фирмы (доля рынка). При этом возможно использование различных критериев оценки и их сумма с учетом относительной важности каждого. В качестве критериев оценки конкурентной позиции также могут выступать рост доли рынка, квалификация персонала, технологические преимущества, патенты и др. Критериями рыночной привлекательности могут быть темпы роста рынка, норма прибыли в отрасли, особенности конкуренции и др.

В матрице МакКинзи предлагаются следующие стратегии развития компании:

- инвестировать, чтобы улучшить занимаемую позицию (стратегия роста);
- инвестировать, чтобы восстановить или удержать занятую позицию (стратегия стабилизации);
- прекратить инвестиции и уйти с рыночного сектора с низкой привлекательностью (стратегия сокращения).

Преимущества данного метода:

- возможность учета различных критериев оценки деятельности;
- учет как внутренних факторов развития компании, так и внешних факторов привлекательности отрасли;
- возможность учета критериев согласно их весу в итоговом показателе.

Далее на основе вышеприведенных общих классификаций автор данной статьи сформировал классификацию возможных стратегий развития транспортно-экспедиторских компаний.

Таблица 1

Виды стратегий транспортно-экспедиторских компаний

Стратегии роста	Стратегии стабилизации	Стратегии сокращения
Увеличение доли на освоенных секторах рынка	Сохранение доли рынка на определенном секторе рынка (в определенной СЗХ*)	Сокращение или закрытие одной или нескольких СЗХ*
Выход на национальный и международный рынок		
Освоение нового сектора рынка по другому роду груза		
Прямая диверсификация по расширению спектра оказываемых услуг (морское агентирование, перегрузочная деятельность, перевозки на различных видах транспорта)		
Непрямая диверсификация (применяется достаточно редко)		

* *Примечание:* ниже приведены основные критерии деления транспортно-экспедиторского рынка на стратегические зоны хозяйствования.

Основными критериями деления транспортно-экспедиторского рынка на сектора является род обслуживаемого груза: наливные, навалочные или генеральные, а также спектр оказываемых услуг: полное обслуживание, частичное или местное. Это связано с тем, что условия перевозки, хранения, документального оформления различных видов грузов разные, компании специализи-

руются на обработке какого-либо одного вида груза или группы видов, технология обработки которых сходна.

Отдельная транспортно-экспедиторская компания оказывает свой комплекс услуг. Укрупненно их можно разделить на экспедиторские компании, оказывающие:

- минимальный спектр услуг;
- частичное обслуживание;
- полное транспортно-экспедиторское обслуживание.

Минимальный спектр услуг включает обслуживание только в пункте отправления, или назначения, или перевалки. При этом такие экспедиторы обслуживают какой-либо один вид транспорта: морской, железнодорожный, автомобильный, воздушный. При частичном обслуживании экспедиторы не привязаны к какому-либо виду транспорта и организуют перевозку грузов на каком-либо участке транспортного процесса. При полном обслуживании одна экспедиторская компания организует перевозку груза от грузоотправителя к грузополучателю с использованием нескольких видов транспорта.

Далее в работе приведен анализ табл. 1.

Наибольшее количество стратегических альтернатив для транспортно-экспедиторского предприятия представлено в стратегиях роста. Конкретными направлениями развития в данном случае будут являться:

— развитие доли рынка на конкретном уже освоенном секторе (например, сегмент «навалочные грузы/местное обслуживание» или «генеральные грузы/полное обслуживание»). Расширение доли рынка возможно через приобретение конкурентных преимуществ (повышение конкурентоспособности). А приобретение конкурентных преимуществ возможно через развитие стержневых компетенций. Теория стержневых компетенций была разработана К. Прахаладом и Г. Хэмелом в 1990-е гг. Автором данной работы проблема повышения конкурентоспособности и увеличения доли рынка транспортно-экспедиторской компании рассматривалась в монографии [6, с. 41–42];

— выход на новый сектор по другому роду груза (навалочный, генеральный, наливной). Здесь обязательно необходим мониторинг привлекательности сектора рынка для новых компаний;

— выход на новый сектор по спектру услуг или прямая диверсификация, выход на национальный или международный секторы рынка. Такой способ требует инвестиционных вложений (например, покупка автотранспорта, приобретение складских помещений и др.) или может быть осуществлен путем присоединения других компаний к нашему предприятию, а также путем объединения в транспортный холдинг.

Стратегия сохранения доли рынка может потребовать и повышения конкурентоспособности компании. Стратегия сокращения подразумевает сворачивание бизнеса в неэффективной стратегической зоне хозяйствования и вложения в динамично развивающиеся стратегические единицы бизнеса. Например, свернули монополизированный сектор «наливные грузы/местное обслуживание» (причем у исследуемой компании на этом секторе небольшая доля рынка), сконцентрировались на более развитом с точки зрения конкуренции секторе «генеральные грузы/полное обслуживание».

После формулировки основных стратегий развития транспортно-экспедиторских компаний необходимо рассмотреть методологический инструментарий, который предлагает отечественная и зарубежная наука для выбора генеральной стратегии развития для конкретной компании в зависимости от сложившейся рыночной ситуации.

Многочисленные матричные методы выбора стратегии развития предприятий, предложенные зарубежными специалистами, и проанализированные российскими экономистами, предлагают инструмент выбора оптимальной стратегии в зависимости от различных параметров предприятия, состояния и динамики развития рынка. В табл. 2 представлена несколько упрощенная характеристика критериев, которые используются в данных методах.

Таблица 2

Сравнительный анализ матричных методов выбора стратегии развития предприятия

Наименование метода	Критерии оси X	Критерии оси Y
Матрица Артур Д. Литл	Относительное положение компании на рынке	Стадия жизненного цикла продукта
Матрица Ансоффа	Вид рынка	Вид товара
Матрица «Дженерал Электрик–МакКинзи»	Привлекательность отрасли	Конкурентная позиция (доля рынка)
Матрица Хофера	Показатели сильных сторон бизнеса	Стадия жизненного цикла товара
Матрица Бостонской консалтинговой группы	Относительная доля бизнес-области на рынке	Темпы роста рынка
Матрица «Шелл»	Конкурентоспособность компании	Привлекательность отрасли

Как видно из табл. 2, основными критериями для выбора стратегии развития служат характеристики рынка и показатели работы исследуемой компании. Модель компании «Шелл» является наиболее современным методом [8]. Она была создана в развитие модели Бостонской консалтинговой группы и имеет сходство с матрицей МакКинзи и в то же время является своеобразным продолжением идеи развития стратегического менеджмента. По осям матрицы располагаются следующие показатели: привлекательность отрасли или сектора и конкурентоспособность бизнеса. На наш взгляд, матрица «Шелл» представляется более совершенной, учитывающей наибольшее количество факторов.

С 1960-х гг. в практике стратегического планирования применяется SWOT-анализ, который подразумевает выбор стратегии развития в зависимости от оценки сильных и слабых сторон организации, а также анализа возможностей и угроз, исходящих от окружающей среды [7]. На наш взгляд, основным недостатком данного метода является субъективность оценки, так как в данном методе она производится экспертами. Кроме того, в данной методике недостаточно используются численные показатели. Стержневая компетенция должна обеспечить компании возможность проникновения на рынок и успешное продвижение, повысить значимость продукта по сравнению с конкурентным аналогом.

Для разработки стратегии используется теория ключевых компетенций, получившая развитие в 1990-е гг. Одно из определений ключевых (стержневых) компетенций дано К. Прахаладом и Г. Хэмелом: стержневые компетенции являются коллективным знанием организации, направленным на координирование разнотипных производственных навыков и связывание воедино множественных технологических потоков. Данный метод обладает теми же недостатками, что и SWOT-анализ. Однако в данных методах есть существенный положительный момент — это ориентация на сильные стороны компании и попытка достижения конкурентных преимуществ, используя сильные стороны (ключевые компетенции). Этот момент можно использовать для определения частных стратегий транспортно-экспедиторских компаний, после того как будут определены генеральные стратегии для каждой стратегической зоны хозяйствования [6, с. 41–42].

Из отечественных разработок инструментария выбора стратегии развития можно выделить методику М. Н. Ковалева [4, с. 75–78]. Для формирования базы для разработки стратегии предприятия автор предлагает использовать трехмерную модель. Основным преимуществом данного метода является учет нескольких характеристик рынка, компании и предлагаемого товара или услуг. Мы также будем учитывать в комплексном показателе конкурентоспособности характеристики транспортно-экспедиторской услуги и характеристики компании.

Итак, после анализа литературы по данной проблеме мы разработали матрицу по методу «Шелл», адаптированную для транспортно-экспедиторской отрасли.

Таблица 3

Модифицированная матрица «Шелл» для транспортно-экспедиторских компаний

Комплексный показатель конкурентоспособности предприятия	Привлекательность сектора		
	Высокая	Средняя	Низкая
Высокая	выход на национальный и международный сектора рынка ТЭУ; сохранение позиций на рынке; возможна непрямая диверсификация.	выход на национальный и международный сектора рынка ТЭУ; сохранение позиций на рынке; возможна непрямая диверсификация	возможно освоение новых секторов рынка транспортно-экспедиторских услуг; закрытие анализируемого сегмента
Средняя	прямая диверсификация; увеличение доли рынка через повышение конкурентоспособности	прямая диверсификация; увеличение доли рынка через повышение конкурентоспособности	освоение новых секторов рынка транспортно-экспедиторских услуг; повышение конкурентоспособности; закрытие анализируемого направления
Низкая	Увеличение доли рынка через повышение конкурентоспособности	Увеличение доли рынка через повышение конкурентоспособности	закрытие анализируемого направления; повышение конкурентоспособности, а затем выход на новый сектор

Для оценки уровня конкурентоспособности предложен комплексный показатель [3, с. 60]:

$$K_{\text{тэп}} = P_{\text{тр}} + P_{\text{усл}} + K_{\text{ф.уст}} + L_{\text{тек}} + K, \quad (1)$$

где $K_{\text{тэп}}$ — показатель конкурентоспособности транспортно-экспедиторского предприятия, баллы;

$P_{\text{усл}}$ — показатель рентабельности услуг, баллы;

$P_{\text{тр}}$ — уровень производительности труда, баллы;

$K_{\text{ф.уст}}$ — уровень финансовой устойчивости, баллы;

$L_{\text{тек}}$ — уровень платежеспособности, баллы;

K — уровень конкурентоспособности услуг, баллы.

Для расчета этого показателя единичные показатели конкурентоспособности, такие как производительность труда, рентабельность услуг и коэффициент текущей ликвидности приведены к сопоставимому виду с помощью 10-балльной шкалы.

Для оценки конкурентоспособности транспортно-экспедиторских услуг разработан комплексный показатель уровня конкурентоспособности услуг в виде следующего выражение:

$$K_i(N_i, K_{yij}, P_i) = \begin{cases} 0, & \text{при } N_i = 0 \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} * K_{yij} + a_{n+1} * P_i, & \text{при } N_i = 1 \end{cases} \quad (2)$$

где K_i — комплексный показатель уровня конкурентоспособности транспортно-экспедиторских услуг по i -му роду груза;

N_i — нормативный показатель качества транспортно-экспедиторских услуг по i -му роду груза;

K_{yij} — j -й показатель качества ТЭУ по i -му роду груза, баллы;

P_i — ценовой показатель ТЭУ по i -му роду груза, баллы;
 a_{ij} — коэффициент весовой значимости j -го качественного показателя в комплексном показателе конкурентоспособности;
 a_{n+1} — коэффициент весовой значимости ценового показателя уровня конкурентоспособности;
 n — количество оцениваемых качественных показателей.

Для расчета единичных показателей конкурентоспособности разработаны формулы, представленные в виде табл. 4.

Таблица 4

Предлагаемые формулы для расчета единичных показателей конкурентоспособности транспортно-экспедиторских услуг

Наименование показателя и предлагаемая формула	Принятые условные обозначения
Уровень надежности обслуживания $N_{ni} = \frac{\sum_{j=1}^m B_{ij}}{L_i} \quad (3)$	N_{ni} — уровень надежности обслуживания i -го рода груза; B_{ij} — показатель степени тяжести ущерба по удовлетворенным претензиям и искам по i -му роду груза за отчетный период; m — количество договоров экспедирования, по которым были предъявлены и удовлетворены претензии и иски при обслуживании i -го рода груза за отчетный период; L_i — количество выполненных контрактов за отчетный период
Относительный уровень времени обслуживания $t_i = \frac{\sum_{j=1}^n Tf_{ij}}{\sum_{j=1}^n Tt_{ij}} \quad (4)$	t_i — относительное время обслуживания по i -му роду груза; Tf_{ij} — фактическое время выполнения j -го количества операций по ТЭО по i -му роду груза, сут; Tt_{ij} — теоретическое время выполнения j -го количества операций при ТЭО i -го рода груза, сут. Принимается среднее время выполнения j -й операции; N — количество, оцениваемых операций
Мера полноты спектра услуг $S_{ni} = \frac{S_i}{S_{\max i}} \quad (5)$	S_{ni} — мера полноты обслуживания по i -му роду груза; S_i — количество фактически оказываемых услуг по обслуживанию i -го рода груза; $S_{\max i}$ — максимально возможное количество оказываемых услуг по обслуживанию i -го рода груза
Относительный показатель цены $P_i = \frac{P_{ki}}{P_{\max i}} \quad (6)$	P_i — относительный показатель цены по i -му роду груза; P_{ki} — ставка экспедиторской комиссии i -го рода груза исследуемой компании и плата третьим лицам за выполненные услуги со скидками, долл./т; $P_{\max i}$ — ставка экспедиторской комиссии i -го рода груза ОАО «Новороссийский морской торговый порт» и оплата работ третьим лицам без скидок, долл./т.

Показатель уровня конкурентоспособности услуг по всем грузам определен как среднеарифметическая, взвешенная по грузообороту, величина:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^N K_i * Q_i}{Q}, \quad (7)$$

где K — уровень конкурентоспособности транспортно-экспедиторских услуг изучаемой компании; K_i — уровень конкурентоспособности транспортно-экспедиторских услуг по i -му виду груза. Рассчитывается по формуле (3); Q_i — грузооборот компании по i -му роду груза, т; Q — общий грузооборот компании, т.

Вопрос оценки привлекательности сектора транспортно-экспедиторского рынка также рассматривался автором ранее. Привлекательность сектора оценивается по следующим показателям:

количество компаний, объем сектора, трехдольный индекс концентрации, индекс Херфиндаля–Хиршмана, интенсивность конкуренции по соотношению рыночных долей.

В дальнейшем автор данной статьи будет рассматривать методы и методики частных стратегий развития транспортно-экспедиторских предприятий, а также будет произведена апробация предлагаемых методов на транспортно-экспедиторских предприятиях Новороссийского транспортного узла.

Список литературы

1. *Боровских Н. В.* Конкурентные стратегии: методология формирования и развития / Н. В. Боровских // Маркетинг. — 2005. — № 2 (81). — С. 37–48.
2. *Владимирова Л. П.* Прогнозирование и планирование в условиях рынка / Л. П. Владимирова. — М.: Дашков и Кс, 2005. — 400 с.
3. *Иванова М. Б.* Методические основы оценки уровня конкурентоспособности транспортно-экспедиторской компании: моногр. / М. Б. Иванова. — Новороссийск: МГА им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2008. — 96 с.
4. *Ковалев М. Н.* Моделирование рыночных ситуаций и стратегий / М. Н. Ковалев // Маркетинг. — 2003. — № 1.
5. *Коротков А. В.* Стратегические матрицы как объект и инструмент классификации / А. В. Коротков // Маркетинг. — 2004. — № 4.
6. *Лапыгин Ю. Н.* Стратегический менеджмент: учеб. пособие / Ю. Н. Лапыгин. — М.: ИНФРА-М, 2007. — 236 с.
7. SWOT-анализ. Основные положения SWOT-анализа предприятия [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.stplan.ru>
8. Матрица направленной политики компании «Шелл» [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.stplan.ru>
9. Матрица «Дженерал электрик–Маккинзи» [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.stplan.ru>
10. *Гольдштейн Г. Я.* Стратегический менеджмент / Г. Я. Гольдштейн [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.aup.ru>
11. *Мескон М. Х.* Основы менеджмента / М. Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури. — М.: Дело, 1992. — 702 с.

УДК 656.62

Г. В. Поваров,
д-р экон. наук, профессор,
СПГУВК;

М. В. Чуркина,
Аспирант,
СПГУВК

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЗОНЫ ЕДИНОЙ ГЛУБОКОВОДНОЙ СИСТЕМЫ

PROBLEMS OF INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT IN THE NORTH-WEST ZONE OF A SINGLE DEEP-WATER SYSTEM

В настоящей статье раскрывается понятие «инфраструктура», рассматривается состав инфраструктуры речного транспорта Российской Федерации. Указаны проблемы, существующие на внутренних водных путях, и приведены варианты их решения. Также рассмотрен вопрос развития и обеспечения транспортной безопасности внутренних водных путей, флота, гидротехнических сооружений и портов. В связи с тем, что Российская Федерация является одним из основных поставщиков и потребителей нефти на мировом рынке, раскрывается вопрос обеспечения экологической безопасности северо-западной зоны Единой глубоководной транспортной системы, описаны способы решения данной проблемы и меры улучшения экологической безопасности г. Санкт-Петербурга.

In this article the term “infrastructure” is disclosed, the infrastructure of river transport of the Russian Federation is considered. The problems that exist in inland waterways, and options for solving them are shown. Also the development and transport security of inland waterways fleet, hydraulic engineering constructions and ports are considered. Due to the fact that the Russian Federation is one of the major suppliers and consumers of oil in the world market, the issue of environmental safety of the northwestern Integrated deep water transport system is disclosed, ways of solving this problem and measures to improve the environmental safety of Saint-Petersburg are given.

Ключевые слова: инфраструктура, речной транспорт, внутренние водные пути, флот, гидротехнические сооружения, безопасность.

Key words: infrastructure, water transport, inland waterways, fleet, hydraulic engineering constructions, security.

В НАЧАЛЕ 1970-х гг. в экономической литературе появилась тенденция отнесения транспорта не к отраслям материального производства, а к инфраструктуре. Смысл введения понятия «инфраструктура» заключается в стремлении отделить промышленность и сельское хозяйство от материально-технических условий, которые создают основу для завершения процесса производства, превращая изготовленную продукцию в готовую, доставляя ее потребителю.

Следует отметить, что в экономической литературе нет общепринятого понятия «инфраструктура», а сам термин впервые появился в 1940-х гг. В зарубежной литературе границы этого понятия значительно расширены. Наряду с транспортом, связью и материально-техническим снабжением к инфраструктуре относят всю непроизводственную среду. Классификация отраслей инфраструктуры развитых капиталистических стран построена на чисто практических соображениях и принимает во внимание преимущественно источники финансирования, а не научные категории. Основным признаком отнесения отраслей к инфраструктуре заключается в их убыточности или низкой рентабельности. Поэтому наряду с крупными капиталоемкими объектами (транспортные коммуникации, каналы, энергоцентраль, оросительные системы, коммунальное хозяйство и др.) к инфраструктуре относят почти все отрасли производственной

сферы, услугами которых пользуется индустриальный бизнес, но не хочет принимать участие в их финансировании.

В настоящее время в состав инфраструктуры речного транспорта РФ включают: внутренние водные пути, обозначенные знаками навигационного ограждения; расположенные на них судопропускные и портовые гидротехнические сооружения; специальные объекты и сооружения, включенные в системы диспетчерского управления движением судов и обеспечением безопасности судоходства [2].

Протяженность внутренних водных путей, по которым выполняются перевозки пассажиров и грузов на территории 61 субъекта Российской Федерации, составляет 101,6 тыс. км. На них расположено 723 судопропускных гидротехнических сооружения, из которых 335 ГТС (46,3 %) включены в отраслевой Регистр судопропускных гидротехнических сооружений, подлежащих декларированию безопасности. В настоящее время все эти 335 ГТС относятся к стратегически важным объектам Российской Федерации, а по классификации угроз к техногенно опасным объектам [1].

На 1 января 2010 г. установлено, что 21,0 % находящихся на внутренних водных путях РФ гидротехнических сооружений имеют нормальный уровень безопасности, 61,0 % — пониженный, 14,0 % — неудовлетворительный, и 4,0 % — опасный. Эксплуатация гидротехнических сооружений, находящихся в неудовлетворительном техническом состоянии, может привести к технологическим авариям и таким катастрофическим последствиям, как затопление ниже-расположенных территорий с прохождением волн высотой до 18 м, прекращение судоходства, выход из строя гидроэлектростанций и систем водоснабжения, а также нарушение экологического равновесия на крупных территориях.

С целью ликвидации отмеченных недостатков и создания на водных путях России необходимых и безопасных условий судоходства министр транспорта Российской Федерации 09.07.2009 г. утвердил Концепцию реформирования системы управления внутренними водными путями Российской Федерации, одобренную Правительством Российской Федерации 11.06.2009 г.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- устранить участки, лимитирующие пропускную способность Единой глубоководной системы европейской части Российской Федерации и создать условия для дальнейшего ее роста;
- обеспечить надежность объектов инфраструктуры и безопасность судоходства на всех находящихся в эксплуатации судопропускных гидротехнических сооружениях;
- развивать портовую инфраструктуру на внутренних водных путях международного значения;
- повысить конкурентоспособность речного транспорта на основе обновления транспортного флота.

Решение этих задач позволит сократить протяженность внутренних водных путей, ограничивающих пропускную способность в европейской части России, и ликвидировать аварийное состояние и опасный уровень безопасности на всех судопропускных гидротехнических сооружениях.

Протяженность участков, лимитирующих пропускную способность Единой глубоководной системы европейской части Российской Федерации, в значительной степени может быть сокращена в результате:

- строительства низконапорного гидроузла в Нижегородской области (пос. Козино);
- реконструкции и развития инфраструктуры Волго-Балтийского водного пути, строительства второй нитки шлюза Нижне-свицкого гидроузла и канала «Ладога–Финский залив».

В результате реализации проектов увеличится пропускная способность Единой глубоководной системы европейской части Российской Федерации, будет сохранена целостность реки Волги как судоходной реки. Обеспечение гарантированных габаритов пути создаст условия для развития транзитных грузопотоков, эффективного использования транспортных судов современных и перспективных типов, системного развития транспортной инфраструктуры.

Повышение конкурентоспособности внутреннего водного транспорта на основе обновления транспортного флота предполагается осуществлять за счет размещения крупных заказов для замены судов «Волго-Дон» и «Волгонефть», которые на протяжении многих лет являются основными судами для перевозки грузов по Единой глубоководной системе европейской части Российской Федерации, а в настоящее время требуют замены по срокам службы. Кроме того, предусматривается строительство малотоннажного флота для восточных бассейнов и пассажирских судов нового проекта [3].

Развитие портовой инфраструктуры на внутренних водных путях международного значения планируется осуществлять путем строительства портовых терминалов и объектов инфраструктуры некоторых крупных портов на принципах государственно-частного партнерства.

В результате реализации проекта порты смогут обрабатывать все типы судов класса река–море без ограничения грузоподъемности. За счет увеличения пропускной способности значительно возрастут объемы перевалки грузов, что повысит конкурентоспособность речного транспорта и будет способствовать реализации транзитного потенциала страны.

В целях обеспечения надежности объектов инфраструктуры и безопасности судоходства на внутренних водных путях предполагается осуществить комплекс мероприятий по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений, модернизации береговых производственных объектов и сооружений, обновлению обслуживающего флота, реконструкции и развитию сетей технологической связи на внутренних водных путях, приобретению программно-аппаратных средств для оснащения лабораторий навигационной информации, усилению антитеррористической защищенности объектов, развитию материально-технической базы учебных заведений.

В состав мероприятий, обеспечивающих безопасность гидротехнических сооружений на внутренних водных путях речного транспорта, входят: реконструкция объектов инфраструктуры канала им. Москвы, комплексная реконструкция гидротехнических сооружений Единой глубоководной системы европейской части Российской Федерации, комплексная реконструкция гидротехнических сооружений внутренних водных путей Сибири и Дальнего Востока.

Все судопропускные гидротехнические сооружения к моменту открытия внутренних водных путей для международного судоходства должны оцениваться как работоспособные.

В создании и обеспечении габаритов и качественных параметров пути значительная роль принадлежит техническому флоту и судам специального назначения, являющимся федеральной собственностью. Проблему обновления обслуживающего флота предполагается решить путем строительства на отечественных судостроительных заводах судов нового поколения и модернизации судов, находящихся в настоящее время в удовлетворительном состоянии. Для этого необходимо построить 352 судна (обстановочных, экологических, служебно-вспомогательных, для промерных и изыскательских работ, земснарядов), предназначенных для контроля условий судоходства на внутренних водных путях, и 115 скоростных патрульных катеров для обеспечения контрольно-надзорной деятельности.

Обеспечение безопасности на внутренних водных путях невозможно без реконструкции и развития сетей технологической связи. Мероприятия по развитию сетей технологической связи предусматривают создание системы управления движением судов и информационного обеспечения судоходства на всех внутренних водных путях Российской Федерации.

Надежность и безопасность функционирования транспортной системы может быть обеспечена только при наличии достаточного количества высококвалифицированных специалистов речного транспорта и современной материально-технической базы учебных заведений. Для реализации этой проблемы предполагается построить и реконструировать объекты федеральной собственности высших учебных заведений внутреннего водного транспорта и их филиалов.

Российская Федерация является одним из основных поставщиков и потребителей нефти на мировом рынке. Процесс транспортировки нефти напрямую связан с обеспечением экологической безопасности. Реализация мероприятий по созданию эффективной системы по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на внутренних водных путях с судов и объектов

позволит снизить риски загрязнения нефтью и нефтепродуктами внутренних водоемов, являющихся рекреационными зонами и источниками водоснабжения.

Отсутствие резервов пропускной способности Волго-Балтийского водного пути, высокая вероятность возникновения аварийных ситуаций с судами при подходе и в черте города, невозможность полного исключения криминогенных ситуаций с нефтеналивными танкерами за время прохождения их через невские мосты и многие другие обстоятельства требуют незамедлительно-го решения проблемы создания дополнительного водного соединения «Ладога–Финский залив». Водоснабжение Санкт-Петербурга происходит из р. Невы, все водопроводные станции города используют невскую воду и обслуживают около 5 млн жителей, поэтому крупная авария с нефтеналивными танкерами при подходе и прохождении через мосты может привести к серьезной экологической обстановке и даже к катастрофе в городе. В первую очередь на новое соединение следует переключить судопоток нефтепродуктов, проходящих в настоящее время по р. Неве.

В результате вступления России во Всемирную торговую организацию существенно возрастут объемы перевозок экспортно-импортных грузов, что приведет к увеличению нагрузки на инфраструктуру водного транспорта. Несмотря на все выгоды, которые могут получить российские судоходные компании от вступления в ВТО, существует ряд серьезных проблем, которые непосредственно связаны с неподготовленностью инфраструктуры речного транспорта к интеграции в общеевропейскую транспортную систему. Особенно это относится к северо-западной части Волго-Балтийской водной системы, внутренние водные пути которой являются главной «подъездной дорогой» к западным морским воротам страны, по которой выполняется основной объем перевозок экспортных грузов — нефти и нефтепродуктов, леса, металла, минеральных удобрений и др. В судообороте морского порта Санкт-Петербург суда, пришедшие с внутренних водных путей, составляют более 40 % от их общего количества.

В соответствии с Европейским соглашением о важнейших внутренних водных путях международного значения, а также рядом принятых международных соглашений по развитию транспортного коридора «Север–Юг» и одобренной Правительством РФ «Концепции развития внутреннего водного транспорта» направление на интеграцию внутренних водных путей РФ в общеевропейскую систему приведет к увеличению объемов речных перевозок. По данным ОАО «Ленморниипроект», в ближайшие 4–5 лет реальное увеличение речных перевозок составит 7 млн т. В этот объем не включены международные транзитные перевозки, которые могут возникнуть в ближайшей перспективе после открытия трассы Санкт-Петербург–Астрахань для прохода судов под флагом иностранных государств. Однако уже в настоящее время пропускная способность Волго-Балта в черте города практически полностью исчерпана, а участок р. Невы, расположенный в пределах Санкт-Петербурга, приводит к непроизводительным простоям флота, от которых убытки судовладельцев превышают 3 млн долл. за навигацию. Кроме того, участок р. Невы в черте города является одним из опасных в экологическом отношении и самым затруднительным для судоходства на всех внутренних водных путях России. Большие скорости течения, свальные потоки, городские огни затрудняют проход крупногабаритных судов, часто приводят к аварийным ситуациям. При ширине корпуса 16,5 м суда проходят между разводными пролетами моста шириной менее 40 м. Навалы на устои моста недопустимы, так как это может привести к повреждению их устоев и разводных частей, а также к повреждению корпуса самих судов. На всем пути следования запрещена отдача якоря, что связано с возможностью повреждения кабельных переходов, уложенных на дне р. Невы. Для обеспечения безаварийной проводки на этом участке протяженностью 27 км введена обязательная лоцманская проводка для всех судов грузоподъемностью более 2000 т.

Водное соединение «Ладога–Финский залив» предусматривает строительство канала на севере Ленинградской области. Оно может быть проложено от Ладожского озера, в районе реки Бурной, по озерам Суходольское, Сайменское, Вуокса, р. Вуокса до нижнего бьефа в районе Брусничное Сайменского канала. Длина его составит 140 км и трасса пройдет по уже существующим водным артериям — руслу р. Вуоксы и через оз. Суходольское, Вуокса, Макаровское, Соколиное, Краснохолмское. Проложенная трасса канала позволит сохранить уровенный режим всех водо-

емов р. Вуоксы. В ходе строительства не нарушатся наземные транспортные пути, потребуется переустройство только двух мостовых переходов в районе пос. Лосево. Течение в канале будет минимальным (не более 0,2 м/с). Время прохождения канала судами — около 11 ч, включая время на шлюзование (~ 1 ч на каждый шлюз) при скорости движения 9–12 км/ч. При этом длина судоходного пути в европейские порты останется прежней, а путь движения судов, следующих с Волго-Балта в порты Финляндии, сократится более чем на 100 км.

После завершения строительства канала «Ладога–Финский залив» будут созданы благоприятные условия для судоходства: гарантированная глубина — не менее 5,0 м, ширина — 40 м и радиус закругления — 750 м. Новый канал может быть построен по одному из двух вариантов: либо с пятью шлюзами, либо с тремя. Шлюзы будут установлены на каждом гидроузле: у Ладоги, в районе пос. Лосево, два шлюза на водоразделе и один на западном склоне у Финского залива.

Список литературы

1. *Ганеев А. М.* Шлюзованные водные пути и судоходные каналы: учеб. пособие / А. М. Ганеев, В. В. Кононов, М. А. Колосов. — СПб.: СПГУВК, 2004. — 191 с.
2. *Поваров Г. В.* Экономика и управление транспортной инфраструктурой: учеб. пособие / Г. В. Поваров, М. Э. Федоров, М. В. Чуркина. — СПб., 2012. — 157 с.
3. *Поваров Г. В.* Производственные ресурсы, их назначение. Показатели состояния и использования: конспект лекций / Г. В. Поваров. — СПб.: СПГУВК, 2010. — 64 с.

УДК 656.02.41

В. Г. Никифоров,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК;

М. М. Федорова
ст. преподаватель,
СПГУВК

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНТРОПИЙНОГО ПОДХОДА ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ОТКРЫТИЯ НОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ МАРШРУТОВ

SPECIAL FEATURES OF USING THE ENTROPIC APPROACH IN THE PROCESS OF PLANNING THE OPENING OF NEW TRANSPORT ROUTES

В статье даны рекомендации по применению энтропийного подхода при моделировании межрайонных корреспонденций в транспортных системах крупных городов, направленные на повышение точности его результатов и увеличение эффективности функционирования городских транспортных систем.

The article contains the recommendations on the application of entropic approach in modeling the formation of inter-district communications in transport systems of large cities, aimed at the increasing of accuracy of the modeling results and the efficiency of urban transport systems functioning.

Ключевые слова: транспортная система, энтропийный подход, формирование межрайонных корреспонденций, результат моделирования.

Key words: transport system, entropic approach, formation of inter-district communications, modeling results.

ПРИ планировании открытия новых транспортных маршрутов в крупных городах и мегаполисах нередко практикуется моделирование формирования межрайонных корреспонденций в городских транспортных системах. Оно осуществляется с целью получения информации о корреспонденциях и потоках транспортной сети. Подобная информация, как правило, рассчитывается с помощью методов, в основе которых лежат гипотезы о закономерности формирования корреспонденций и потоков, базирующиеся на моделях массового поведения.

Это формирование носит достаточно стихийный характер, на него можно влиять, изменяя параметры и структуру транспортной системы, но нельзя непосредственно управлять им.

Складывающиеся в транспортной сети потоки отображают массовое поведение участников движения, принимающих решение о выборе маршрута и средств передвижения. Индивидуальный выбор решения присущ и таким процессам, как смена места работы, жилья и других, которые во многом формируют структуру корреспонденций.

Для моделирования межрайонных корреспонденций часто используется энтропийный подход, согласно которому структура случайного размещения, возникающего в процессе массового поведения, является решением задачи максимизации энтропии размещения при наличии сдерживающих ограничений [4, с. 64–67]. Полученное в результате размещение можно интерпретировать как наиболее вероятное среди всех размещений, приемлемых с точки зрения сдерживающих ограничений и предпочтений.

Универсальность энтропийного подхода состоит в том, что он дает возможность найти матрицу реализаций (распределений людей по пунктам назначения движения), у которой при заданных ограничениях и предпочтениях суммарная вероятностная мера реализаций максимальна.

Следует отметить, что сегодня наиболее традиционным является моделирование работы городской транспортной системы при трудовых передвижениях. Для этого территория города разбивается на систему N транспортных районов, для каждого из которых определяются численность самодеятельного населения a_i (то есть тех, кто пользуется транспортом для совершения трудовых поездок) и количество мест приложения труда b_j . Затем формируется множество $\{x_{ij}\}$ межрайонных пассажирских корреспонденций, определяющих объемы и структуру нагрузки на транспортную сеть.

На следующем этапе строятся потоки, реализующие полученные корреспонденции на транспортной сети.

При моделировании корреспонденций предполагается, что каждый житель города, проживающий в некотором районе i , выбирая для себя место работы, предпочитает район j с вероятностью p_{ij} , величина которой зависит от затрат времени t_{ij} на передвижение из района i в район j и монотонно убывает с ростом этих затрат. Кроме того, возможность реализации такого предпочтения дополнительно стеснена ограничениями на число мест приложения труда b_j в каждом районе.

Рассматривая использование для передвижения наземного и водного видов транспорта, для каждой пары районов можно говорить о двух величинах затрат времени на корреспонденцию t_{ij}^n при передвижении на наземном транспорте и $t_{ij}^в$ при использовании водного транспорта. Таким образом, человек выбирает не только район прибытия, но и вид транспорта для передвижения.

Такой подход к моделированию корреспонденций приводит к решению задачи выпуклого программирования следующего вида:

$$\text{максимизировать} \quad \sum_{i,j,k} x_{ij}^k \ln(p_{ij}^k / x_{ij}^k) \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{jk} x_{ij}^k = a_i^k; \quad i = 1, \dots, N; \quad k = 1, \dots, L, \quad (2)$$

$$\sum_{ik} x_{ij}^k = b_j^k; \quad j = 1, \dots, N; \quad k = 1, \dots, L, \quad (3)$$

$$x_{ij}^k \geq 0.$$

Решением задачи являются матрицы межрайонных корреспонденций $\{x_{ij}\}$. Для определения величин p_{ij}^k используется монотонно убывающая функция $p(t)$, в качестве которой обычно принимают функцию вида $\exp(-\gamma^*t)$, где в качестве аргумента выступают затраты времени на межрайонные передвижения t_{ij}^k , а параметр γ определяет, насколько быстро падает привлекательность мест назначения с увеличением затрат времени на их достижение.

В результате решения задачи (1) с ограничениями (2), (3) множество корреспонденций «раслаивается» на L отдельных матриц корреспонденций, каждая для своего вида транспорта ($k = 1, 2, \dots, L$).

Возможна более простая постановка задачи, в которой объемы отправления в районах не разделены по видам передвижения, а ограничения на объемы передвижений различного вида вводятся по городу в целом. В этом случае ограничения будут выглядеть следующим образом:

$$\sum_{jk} x_{ij}^k = a_i; \quad i = 1, \dots, N, \quad (4)$$

$$\sum_{ik} x_{ij}^k = b_j; \quad j = 1, \dots, N, \quad (5)$$

$$\sum_{i,j,k} x_{ij}^k = A_k; \quad k = 1, \dots, L, \quad (6)$$

$$x_{ij}^k \geq 0.$$

где A_k — ограничение на k -й вид передвижения (введенное по городу в целом).

Однако учет исключительно трудовых передвижений при моделировании недостаточен. Для получения более точных результатов необходимо учитывать передвижения по территории гостей города, прибывших с туристскими или с деловыми целями, а также передвижения, совершаемые обучающимися к местам обучения. Формулировка задачи при этом не изменится, а ограничения примут следующий вид:

$$\sum_{jk} x_{ij}^k = a_i^k + c_i^k + y_i^k + u_i^k; \quad i = 1, \dots, N; k = 1, \dots, L, \quad (7)$$

$$\sum_{ik} x_{ij}^k = b_j^k + d_j^k + z_j^k + v_j^k; \quad j = 1, \dots, N; k = 1, \dots, L, \quad (8)$$

$$x_{ij}^k \geq 0,$$

где c_i — численность обучающихся, проживающих в районе i ;

d_j — количество учебных заведений в районе j ;

y_i — численность прибывших с туристскими целями, находящихся в i -м районе на момент проведения исследования;

z_j — количество мест туристского интереса в районе j ;

u_i — численность прибывших с деловыми целями, находящихся в районе i на момент проведения исследования;

v_j — количество мест притяжения сферы делового туризма в районе j (выставочные центры, крупные бизнес-центры, представительства международных компаний и т. д.);

k — индекс вида передвижения.

В случае более простой постановки задачи (когда объемы отправления в районах не разделены по видам передвижения, а ограничения на объемы передвижений различного вида вводятся по городу в целом) ограничения будут выглядеть следующим образом:

$$\sum_{jk} x_{ij}^k = a_i + c_i + y_i + u_i; \quad i = 1, \dots, N, \quad (9)$$

$$\sum_{ik} x_{ij}^k = b_j + d_j + z_j + v_j; \quad j = 1, \dots, N, \quad (10)$$

$$\sum_{i,j,k} x_{ij}^k = A_k; \quad k = 1, \dots, L,$$

$$x_{ij}^k \geq 0.$$

При этом p_{ij} — это вероятность того, что житель района i выберет для себя место работы (обучения) в районе j ; турист, остановившийся в районе i , выберет для посещения место туристского интереса в районе j ; туристу, остановившемуся в районе i , необходимо с деловой целью посетить район j .

Следует отметить, что допущение о том, что система мест приложения труда (обучения) является однородной (то есть все места однотипны и взаимозаменяемы), может привести к искажениям в структуре корреспонденций, которые выражаются в снижении дальности корреспонденций и завышении на предприятиях доли «местных» работников (обучающихся).

В действительности для каждого работника (обучающегося) относительно взаимозаменяемыми являются рабочие места (места обучения) только той отрасли m ($m = 1, \dots, R$), в которой он занят. Следовательно, возможность выбора ограничена не общим количеством рабочих мест (мест обучения) в районе b_j , а только количеством рабочих мест (мест обучения) района в соответствующей отрасли b_j^m . Соответственно и в районе отправления i этот выбор осуществляют только a_i^m жителей, которые заняты в отрасли m .

В результате сформулированную выше задачу следует рассматривать как совокупность R отдельных подзадач такого же вида (R — число отраслей), где все переменные снабжены дополнительным индексом отрасли m . При этом множество всех корреспонденций «расслаивается» на $R \cdot L$ отдельных матриц корреспонденций.

Список литературы

1. Математические методы в управлении городскими транспортными системами. — Л.: Наука, 1979. — 152 с.
2. Пассажирский транспорт большого города (научные основы управления и развития): учеб. пособие / под общ. ред. В. А. Персианова. — М., 2006. — 79 с.
3. Питтель Б. Г. Случайное размещение с ограничениями и принцип взвешенной энтропии / Б. Г. Питтель // ДАН СССР. — 1972. — Т. 207, № 6. — С. 1281–1283.
4. Федоров В. П., Булычева Н.В., Пахомова О.М., Лосин Л.А. Модель формирования межрайонных корреспонденций в транспортных системах крупных городов / В. П. Федоров // Транспорт Российской Федерации. — СПб.: Изд-во ООО «Т-ПРЕССА», 2008. — № 3–4 (16–17).

УДК 338.121

Е. С. Палкина,

канд. экон. наук,
СПГУВК

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ РОСТА

APPLICATION OF MODERN ANALYTICAL TOOLS OF STRATEGIC MANAGEMENT ON TRANSPORT FOR REALIZATION OF GROWTH STRATEGY

В последние годы в России в условиях высокой динамичности внешней среды и связанной с этим неопределенности широкое распространение на всех уровнях управления получает стратегический ме-

менеджмент, который в том числе востребован и отечественными транспортными компаниями. В данной статье автор рассматривает основные аналитические инструменты стратегического менеджмента, которые в настоящее время применяют организации транспортной отрасли для обеспечения высокого уровня конкурентоспособности, финансовой устойчивости и инвестиционной привлекательности на мировом рынке.

In recent years, in Russia, in conditions of high dynamics of the external environment and the related uncertainty, strategic management receives a widespread at all levels of management, including domestic transport companies. The article deals with the main analytical tools of strategic management, which are currently being used by the organization of the transport branch to ensure a high level of competitiveness, financial stability and investment attractiveness in the world market.

Ключевые слова: миссия, цели, стратегия, стратегический менеджмент, стратегическая матрица, факторы, сегментация рынка, SWOT-анализ, модель McKinsey, модель «5 сил Портера».

Key words: vision, goals, strategy, strategic management, strategic matrix, factors, market segmentation, SWOT-analysis, model McKinsey, model "Porter's five forces".

В СОВРЕМЕННЫХ условиях высокой динамичности внешней среды и связанной с этим неопределенности широкое распространение на всех уровнях управления получает методология стратегического менеджмента как главного фактора повышения конкурентоспособности и продления жизненного цикла организационных систем, как фундаментальной основы эффективной системы управления организацией. Как известно, стратегия фирмы определяет успех ее деятельности в рыночной среде и служит средством достижения ее долгосрочных целей. Несмотря на то что теория стратегического менеджмента возникла лишь в конце XX в., к настоящему времени наработан значительный методический инструментарий, позволяющий формировать стратегию развития компании на основе анализа внешней и внутренней среды, обоснованного выбора из ряда существующих стратегических альтернатив, и эффективно достигать поставленных стратегических целей.

Настоящая статья посвящена обзору существующих методов стратегического управления и практике их использования в транспортных компаниях.

Разработка стратегии начинается с определения миссии организации. Миссия — «это философия и предназначение, смысл существования организации» [1].

При формулировании миссии следует раскрыть следующие основные вопросы:

— В чем конкретно заключается миссия?

— Решению каких социально-экономических проблем она служит? И какими средствами это будет достигнуто?

— Какие потребности (требования) она удовлетворяет?

— В чем заключается ожидаемый эффект от ее реализации?

Ниже приведены примеры миссий крупнейших транспортных компаний России:

«Миссия Аэрофлота — помогать пассажирам осуществлять свои жизненные планы и мечты: эффективно работать, приятно отдыхать, встречаться с родными и близкими, открывать для себя новые страны и города» [2].

«Миссия холдинга РЖД заключается в эффективном развитии конкурентоспособного на российском и мировом рынках транспортного бизнеса с учетом реализации ответственности национального перевозчика и владельца железнодорожной инфраструктуры» [3].

«Осуществление сохранной, безопасной и экономически эффективной транспортировки грузов морем, а также укрепление лидирующих позиций в круглогодичной перевозке всех видов навалочных, генеральных грузов и углеводородного сырья в Северо-Атлантическом и Арктическом бассейнах» [4].

Производными от миссии являются цели и задачи организации. На основании определенных целей и задач формулируются стратегические решения, которые отражают точку зрения ру-

ководства, учитывают объемы имеющихся ресурсов, влияние внешней среды и в целом составляют фон, в условиях которого формулируются предполагаемые стратегии и критерии, по которым они оцениваются.

Стратегическими целями деятельности организации могут быть следующие:

- увеличение доли рынка;
- укрепление положения компании на рынке за счет реализации своих конкурентных преимуществ;
- повышение качества обслуживания клиентов;
- снижение операционных расходов и, как следствие, себестоимости услуги по сравнению с конкурентами;
- диверсификация клиентского портфеля и номенклатуры услуг;
- повышение деловой репутации организации;
- внедрение новых технологий, инноваций;
- повышение конкурентоспособности компании на мировом рынке;
- полное удовлетворение запросов клиентов.

При этом при постановке целей деятельности организации важно придерживаться **технологии SMART**, то есть цель должна быть: 1) конкретной (specific); 2) измеримой (measurable); 3) достижимой (attainable); 4) уместной (relevant); 5) определенной во времени (time-bound) [5].

Пример целей компании ОАО «РЖД»:

«увеличение к 2015 году масштабов бизнеса на внутреннем и зарубежном рынках, в том числе повышение грузооборота не менее чем на 27,6 % по сравнению с уровнем 2009 года и пассажирооборота не менее чем на 9,2 % по сравнению с уровнем 2009 года;

повышение эффективности основной деятельности прежде всего за счет улучшения использования пропускных и провозных способностей инфраструктуры, а также повышения ее технической надежности;

достижение высокого уровня конкурентоспособности за счет формирования новой линейки перевозочных продуктов и дополнительных услуг, развития логистики и улучшения уровня сервиса и качества для клиентов, внедрения инновационной техники и технологий работы, направленных на повышение к 2015 году среднесуточной производительности грузового локомотива, скорости доставки грузов (на 10,3 % к уровню 2009 года), снижения нагрузки на окружающую среду (сокращения на 9,7 % к уровню 2009 года выбросов загрязняющих веществ); повышения безопасности движения грузовых и пассажирских поездов, снижения уровня аварийности, снижения общего производственного травматизма;

повышение благополучия и социальной защищенности работников на принципах социального партнерства с учетом роста их компетенций и производительности труда не менее чем на 30 % к 2015 году;

обеспечение уровня корпоративного управления, соответствующего лучшим мировым стандартам» [3].

Этапу разработки стратегии наряду с выработкой миссии и целей организации предшествует стратегический анализ.

Вначале следует провести сегментацию и структурирование рынка. Рассмотрим этот процесс на основе существующего рынка транспортных услуг по перевозке грузов железнодорожным транспортом (табл. 1).

Таблица 1

Сегментирование услуг (бизнеса)

Сегменты	А	В	С	Д
	Организация грузоперевозок	Предоставление вагонов	Оплата ж/д тарифа	Организация ремонтов вагонов
Рынок	грузовладельцы, применяющие аутсорсинг транспортных услуг, средние и мелкие ж/д операторы подвижным составом	грузовладельцы, имеющие собственное транспортное подразделение, средние и мелкие ж/д операторы подвижным составом	грузовладельцы, ж/д операторы подвижным составом (в том числе зарубежные)	средние и мелкие ж/д операторы подвижным составом
Технология	Определение оптимальной транспортно-логистической схемы перевозки по следующим критериям: 1) минимальный порожний пробег вагона от места выгрузки до места следующей погрузки; 2) минимальные простои вагонов на ж/д станциях в пути следования и под погрузкой/выгрузкой; 3) минимальный ж/д тариф за перевозку вагонов; 4) обеспечение обратной загрузки	Подбор и предоставление (подгон на станцию погрузки) технически исправного и коммерчески пригодного подвижного состава на основе заявки клиента в зависимости от вида перевозимого груза	Оплата ж/д тарифа с единого лицевого счета компании и перевыставление этих расходов и вознаграждения клиенту	Проведение ремонтной логистики: выбор вагону-ремонтного депо исходя из следующих критериев: 1) осуществление ремонта в депо конкретного вида вагонов; 2) минимальное расстояние от места выгрузки до депо; 3) минимальная цена на ремонт вагонов; 4) минимальные сроки ожидания и прохождения ремонтов; 5) удовлетворительное качество ремонта вагонов (гарантии)
Функция	Удовлетворение потребности в грузоперевозке ж/д транспортом	Удовлетворение потребности в привлечении вагонов для перевозки грузов	Удовлетворение потребности в оплате перевозки груженых/порожних вагонов владельцу инфраструктуры (ОАО «РЖД»)	Удовлетворение потребности в ремонте вагонов

Сегментация заключается в разделении рынка на отдельные части (сегменты) по определенным признакам: виду услуг, группе клиентов, территориальному расположению, коду груза. Анализ сегментов рынка позволяет устанавливать закономерность потребления транспортных услуг, динамику спроса, выявлять структурные сдвиги, прогнозировать предложение услуг и стратегию развития компании в конкурентной среде.

Следует провести анализ привлекательности различных сегментов рынка в соответствии с получаемой прибылью и возможностями роста и выбрать те из них, которые представляют наибольший интерес для фирмы. Таким образом, мы определяем наиболее привлекательную самостоятельную бизнес-единицу — СБЕ. В нашем примере такой наиболее привлекательной СБЕ является «организация грузоперевозок», поскольку обеспечивает бо́льшую рентабельность продаж и содержит высокий потенциал роста объема оказываемых услуг (табл. 2).

Таблица 2

Факторы привлекательности рынка и конкурентной позиции
транспортной компании — ж/д оператора подвижным составом

	Вес	Организация грузоперевозок	Предоставление вагонов	Оплата ж.д. тарифа	Организация ремонтов вагонов
Привлекательность рынка:					
1. Общий объем рынка	0,1	5/0,5	10/1,0	10/1,0	10/1,0
2. Рост рынка	0,3	10/3,0	1/0,3	7/2,1	7/2,1
3. Норма прибыли	0,3	10/3,0	5/1,5	7/2,1	10/3,0
4. Изменение технологий	0,2	10/2,0	10/0,2	5/1,0	10/2,0
5. Барьер входа	0,1	10/1,0	10/1,0	8/0,8	10/1,0
Итого:	1,00	9,6	4,0	7,4	9,1
Эффективность бизнеса:					
1. Технологии	0,2	9/1,8	9/1,8	5/1,0	7/1,4
2. Преданность потребителя	0,1	10/1,0	10/1,0	3/0,3	10/1,0
3. Квалификация персонала	0,2	10/2,0	10/2,0	7/1,4	10/2,0
4. Эффект масштаба	0,25	10/2,5	5/1,25	3/0,75	7/1,75
5. Производительность труда	0,25	10/2,5	10/2,5	10/2,5	10/2,5
Итого:	1,00	9,15	8,55	5,95	8,65

Далее эти СБЕ анализируются по модели McKinsey («General Electric») или анализу «привлекательность–конкурентоспособность» [6], где каждый бизнес оценивается по двум критериям: рыночной привлекательности и эффективности бизнеса (рис. 1). Анализ существующих направлений деятельности СБЕ позволяет оценить, насколько целесообразно развитие тех или иных направлений деятельности компании, куда стоит инвестировать средства а от каких направлений деятельности стоит отказаться вообще.

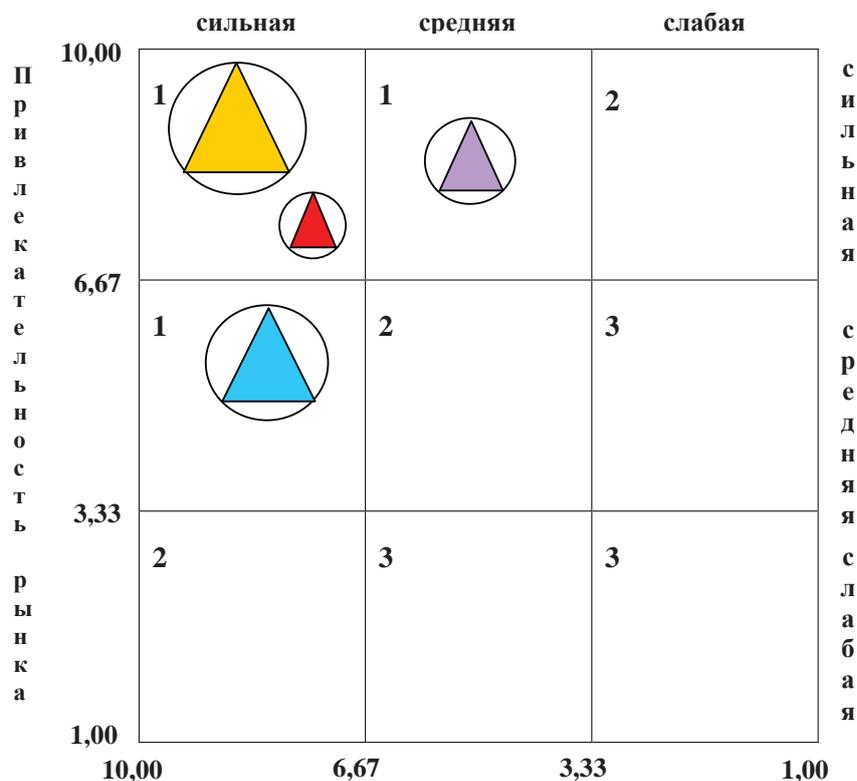


Рис. 1. Стратегическая матрица СБЕ «привлекательность–конкурентоспособность»

В полученной матрице два СБЕ попали в верхний левый сегмент. Это означает, что это «защищенная позиция» для обеих, то есть целесообразны максимальные инвестиции в развитие и концентрация усилий на поддержании эффективности.

Для дальнейшего анализа мы выбираем СБЕ «организация грузоперевозок» как наиболее перспективную, на наш взгляд. Компания обладает высоким качеством транспортно-экспедиционных услуг — надежность подрядчиков, собственные региональные представительства в крупнейших транспортно-логистических узлах как в России, так и за рубежом, сотрудничество с национальными владельцами ж/д инфраструктуры ряда европейских стран (например, латвийскими железными дорогами, Финскими железными дорогами и др.), круглосуточная диспетчеризация подвижного состава. Возможно предложение клиентам пакетных решений. Поэтому для этой СБЕ выбираем стратегию дифференциации.

Динамику конкурентной борьбы для СБЕ «организация грузоперевозок» характеризует модель «5 сил Портера» (рис. 2).



Рис. 2. Модель «5 сил Портера» для СБЕ «организация грузоперевозок»

Эти пять сил определяют границы цен, издержек, инвестиционных требований, которые являются основными факторами для определения прибыльности отрасли в долгосрочном периоде и, следовательно, для ее привлекательности [7]. Для данного СБЕ определенные угрозы существуют.

Важным элементом стратегического менеджмента, позволяющим оценить сильные и слабые стороны бизнеса, выбрать те или иные направления деятельности, стратегии развития бизнеса, является SWOT-анализ [8]. Приведем пример использования этого инструмента на примере крупной транспортной компании — оператора ж/д подвижным составом (табл. 3).

Таблица 3

SWOT-анализ деятельности транспортной компании — ж/д оператора подвижным составом

Факторы внутренней среды			
Сильные стороны	↓	Слабые стороны	
<p>С1. Успешный многолетний опыт оказания услуг грузоперевозок ж/д транспортом.</p> <p>С2. Узнаваемый бренд.</p> <p>С3. Наличие постоянных клиентов – крупнейших грузовладельцев страны.</p> <p>С4. Высокое качество транспортно-экспедиционных услуг.</p> <p>С5. Активные масштабные инвестиции в обновление и пополнение подвижного состава, развитие транспортной инфраструктуры.</p> <p>С6. Умение эффективнее других аналогичных компаний в отрасли управлять вагонным парком (лучшие показатели в отрасли по рентабельности активов).</p> <p>С7. Высокопрофессиональный персонал.</p> <p>С8. Предоставление оптимальных схем доставки грузов, что позволяет клиенту минимизировать транспортную составляющую в цене продукции.</p> <p>С9. Передовые знания в области НИР, рынка, технологий.</p> <p>С10. Диверсифицированный большой парк вагонов в управлении компании.</p> <p>С11. Наличие собственного диспетчерского и информационного центров.</p> <p>С12. Наличие разветвленной сети региональных представительств, расположенных в крупнейших транспортных узлах России</p>		<p>У1. Высокий уровень цены на перевозку.</p> <p>У2. Высокий уровень финансового левериджа и, как следствие, ограниченные возможности по привлечению заемного капитала для инвестирования в развитие бизнеса.</p> <p>У3. Высокая фондоемкость: высокие производственные риски, низкая оборачиваемость капитала, высокие налоги на имущество, высокая доля постоянных затрат, низкая рентабельность собственного капитала.</p> <p>У4. Старение подвижного состава.</p> <p>У5. Увеличение доли нерабочего парка компании в связи с ростом потребностей в ремонте вагонов.</p> <p>У6. Отсутствие собственной магистральной локомотивной тяги и правовой базы под ее использование.</p> <p>У7. Сезонность.</p> <p>У8. Длительный период окупаемости нового вагона.</p> <p>У9. Низкая отдача инвестированного капитала.</p> <p>У10. Низкая инвестиционная привлекательность бизнеса.</p> <p>У11. Отсутствие системного управления стоимостью компании.</p> <p>У12. Относительно низкая информационная прозрачность</p>	
	S	W	
Угрозы	T	O	Возможности
<p>У1. Высокий уровень монополизации рынка ж/д грузоперевозок и обеспечивающей инфраструктуры, административное регулирование со стороны ОАО «РЖД».</p> <p>У2. Отсутствие свободного и равноправного доступа к транспортной инфраструктуре.</p> <p>У3. Усиление позиций дочерних транспортных структур ОАО «РЖД» (ОАО «Первая грузовая компания», ООО «ТрансЛес», ОАО «ТрансКонтейнер»).</p> <p>У4. Потеря доли рынка в связи с вступлением России в ВТО.</p> <p>У5. Ослабление имеющихся позиций из-за более высоких темпов развития конкурентов.</p> <p>У6. Консолидация рынка другими игроками.</p> <p>У7. Рост конкуренции со стороны автомобильного и водного транспорта.</p> <p>У8. Опережающие темпы роста стоимости вагонов по сравнению с ростом ставок за перевозки.</p> <p>У9. Высокая конкуренция на рынке капитала.</p> <p>У10. Неэффективная налоговая система.</p> <p>У11. Высокие риски, приводящие к высокой налоговой нагрузке.</p> <p>У12. Проблемы с возвратом кредита</p>			<p>С1. Государственная поддержка развития транспортной отрасли.</p> <p>С2. Демонполизация рынка ж/д перевозок.</p> <p>С3. Увеличение грузовой базы и доли рынка.</p> <p>С4. Рост объемов финансовых ресурсов.</p> <p>С5. Снижение стоимости финансовых ресурсов.</p> <p>С6. Благоприятный инвестиционный климат.</p> <p>С7. Развитие фондового и кредитного рынков.</p> <p>С8. Безработица приводит к удешевлению рабочей силы и увеличению числа претендентов на рабочее место.</p> <p>С9. Повышение уровня образования населения приводит к увеличению числа высокообразованных специалистов.</p> <p>С10. Развитие НТП способствует повышению качества услуг, появлению новых рынков и новых потребителей.</p> <p>С11. Либерализация внешнеэкономической деятельности, международное сотрудничество приводит к появлению новых бизнес-партнеров.</p> <p>С12. Выход на IPO для обеспечения модели достижимого экономического роста компании</p>
	↑		
Факторы внешней среды			

Таблица 4

Матрица возможностей внешних факторов

Вероятность использования возможностей	Влияние возможностей на организацию	Сильное	Умеренное	Слабое
	Высокая	C3, C11	C4, C10	
	Средняя	C1, C2, C12	C6, C7, C9	C8
	Низкая	C5		

Таблица 5

Матрица угроз внешних факторов

Вероятность реализации угроз	Влияние угроз на организацию	Сильное	Умеренное	Слабое
	Высокая	У1, У3		
	Средняя	У2, У8	У6, У9	
	Низкая	У4, У5	У7, У12	У10, У11

Таблица 6

Профиль среды организации (внешние факторы)

Факторы среды (Каждому из факторов экспертным образом дается оценка: — направленности по шкале (+) 1 позитивная, (-) 1 негативная; — важности для отрасли по шкале: 3 — большая, 2 — умеренная, 1 — слабая)	Важность для организации, А	Влияние на организацию, В	Направленность влияния, С	Степень важности D = А*В*С
С1. Государственная поддержка развития транспортной отрасли	2	3	+1	+6
С2. Демонопользация рынка ж/д перевозок	2	3	+1	+6
С3. Увеличение грузовой базы и доли рынка	3	3	+1	+9
С4. Рост объемов финансовых ресурсов	3	2	+1	+6
С5. Снижение стоимости финансовых ресурсов	1	3	+1	+3
С6. Благоприятный инвестиционный климат	2	2	+1	+4
С7. Развитие фондового и кредитного рынка	2	2	+1	+4
С8. Безработица приводит к удешевлению рабочей силы и увеличению числа претендентов на рабочее место	2	1	+1	+2
С9. Повышение уровня образования населения приводит к увеличению числа высокообразованных специалистов	2	2	+1	+4
С10. Развитие НТП способствует повышению качества услуг, появлению новых рынков, и новых потребителей	3	2	+1	+6
С11. Либерализация внешнеэкономической деятельности	3	3	+1	+9

Таблица 6
(Окончание)

С12. Выход на IPO для обеспечения модели достижимого экономического роста компании.	2	3	+1	+6
У1. Высокий уровень монополизации рынка железнодорожных грузоперевозок и обеспечивающей инфраструктуры, административное регулирование со стороны ОАО «РЖД»	3	3	-1	-9
У2. Отсутствие свободного и равноправного доступа к транспортной инфраструктуре	2	3	-1	-6
У3. Усиление позиций дочерних транспортных структур ОАО «РЖД»	3	3	-1	-9
У4. Потеря доли рынка в связи с вступлением России в ВТО	1	3	-1	-3
У5. Ослабление имеющихся позиций из-за более высоких темпов развития конкурентов	1	3	-1	-3
У6. Консолидация рынка другими игроками	2	2	-1	-4
У7. Рост конкуренции со стороны автомобильного и водного транспорта	1	2	-1	-2
У8. Опережающие темпы роста стоимости вагонов по сравнению с ростом ставок за перевозки	2	3	-1	-6
У9. Высокая конкуренция на рынке капитала	2	2	-1	-4
У10. Неэффективная налоговая система	1	1	-1	-1
У11. Высокие риски, приводящие к высокой налоговой нагрузке	1	1	-1	-1
У12. Проблемы с возвратом кредита	1	2	-1	-2

Таблица 7

Матрица возможностей внутренних факторов

Влияние возможностей на организацию		Сильное	Умеренное	Слабое
		Высокая	С1, С3	С2, С4, С7, С9, С11, С12
Средняя	С6	С5, С8, С10		
Низкая				

Вероятность использования возможностей

Таблица 8

Матрица угроз внутренних факторов

Влияние угроз на организацию		Сильное	Умеренное	Слабое
		Высокая	У2, У12	
Средняя	У1, У9, У11	У8, У10	У5	
Низкая		У3, У7	У4, У6	

Вероятность реализации угроз

Таблица 9

Профиль среды организации (внутренние факторы)

Факторы среды (Каждому из факторов экспертным образом дается оценка: — направленности по шкале (+) 1 позитивная, (-) 1 негативная; — важности для отрасли по шкале: 3 — большая, 2 — умеренная, 1 — слабая)	Важность для органи- зации, А	Влияние на организацию, В	Направ- ленность влияния, С	Степень важности $D = A * B * C$
С1. Успешный многолетний опыт оказания услуг грузоперевозок ж/д транспортом	3	3	+1	+9
С2. Узнаваемый бренд	3	2	+1	+6
С3. Наличие постоянных клиентов – крупнейших грузовладельцев страны	3	3	+1	+9
С4. Высокое качество транспортно-экспедиционных услуг	3	2	+1	+6
С5. Активные масштабные инвестиции в подвижной состав	2	2	+1	+4
С6. Умение эффективнее других компаний в отрасли управлять вагонным парком	2	3	+1	+6
С7. Высокопрофессиональный персонал	3	2	+1	+6
С8. Предоставление оптимальных схем доставки грузов	2	2	+1	+4
С9. Передовые знания в области НИР, рынка, технологий	3	2	+1	+6
С10. Диверсифицированный большой парк вагонов в управлении компании	2	2	+1	+4
С11. Наличие собственного диспетчерского и информационного центров	3	2	+1	+6
С12. Наличие разветвленной сети региональных представительств	3	2	+1	+6
У1. Высокий уровень цены на перевозку	2	3	-1	-6
У2. Высокий уровень финансового левериджа	3	3	-1	-9
У3. Высокая фондоемкость: высокие производственные риски, низкая оборачиваемость капитала, высокие налоги на имущество, высокая доля постоянных затрат, низкая рентабельность собственного капитала	1	2	-1	-2
У4. Старение подвижного состава	1	1	-1	-1
У5. Увеличение доли нерабочего парка	2	1	-1	-2
У6. Отсутствие собственной магистральной локомотивной тяги и правовой базы под ее использование	1	1	-1	-1
У7. Сезонность	1	2	-1	-2
У8. Длительный период окупаемости нового вагона	2	2	-1	-4

Таблица 9
(Окончание)

У9. Низкая отдача инвестированного капитала	2	3	-1	-6
У10. Низкая инвестиционная привлекательность бизнеса	2	2	-1	-4
У11. Отсутствие системного управления стоимостью компании	2	3	-1	-6
У12. Относительно низкая информационная прозрачность	3	3	-1	-9

Таблица 10

Матрица SWOT

	Возможности	Угрозы
	1. Демонополизация рынка ж/д перевозок. 2. Увеличение грузовой базы и доли рынка. 3. Либерализация внешнеэкономической деятельности	1. Высокий уровень монополизации рынка железнодорожных грузоперевозок и обеспечивающей инфраструктуры, административное регулирование со стороны ОАО «РЖД». 2. Усиление позиций дочерних транспортных структур ОАО «РЖД». 3. Опережающие темпы роста стоимости вагонов по сравнению с ростом ставок за перевозки
Сильные стороны 1. Успешный многолетний опыт оказания услуг грузоперевозок ж/д транспортом. 2. Наличие постоянных клиентов — крупнейших грузовладельцев страны. 3. Высокое качество транспортно-экспедиционных услуг	Привлечение новых клиентов, как в России, так и за рубежом. Развитие международного сотрудничества с национальными перевозчиками. Создание новых продуктов	Усиление взаимодействия с подразделениями ОАО «РЖД». Расширение сотрудничества с дочерними обществами ОАО «РЖД». Наращивание маркетинговой активности
Слабые стороны 1. Высокий уровень финансового левериджа. 2. Относительно низкая информационная прозрачность. 3. Низкая отдача инвестированного капитала.	Выход на IPO. Повышение эффективности деятельности за счет внедрения процессного управления. Внедрение Единой универсальной корпоративной информационной системы	Переход на использование отраслевых программных продуктов, применяемых в ОАО «РЖД». Внедрение системы электронного документооборота. Проведение гибкой ценовой политики

На основе результатов SWOT-анализа деятельности транспортной компании были сформулированы следующие основные выводы, которые послужили впоследствии основой для разработки стратегии развития организации на пятилетний период.

1. Необходимо обеспечить получение максимальной отдачи от имеющихся ресурсов (мощной современной материальной базы, накопленных компетенций в области оказания транспортных услуг, высокопрофессионального персонала и др.) за счет внедрения процессного управления в компании, новой ценовой политики, повышения производительности труда и фондоотдачи, сокращения операционного и финансового циклов, экономии на масштабе производства.

2. Важно использовать сильные стороны компании для нейтрализации риска возникновения угроз, а именно: создавать альянсы (в том числе развивать взаимоотношения с зарубежными партнерами на основе взаимовыгодного сотрудничества), поддерживать высокий уровень операционной эффективности, осуществлять поиск новых направлений деятельности (создавать новые привлекательные для клиентов продукты, внедрять новые технологии), проводить непрерывное обучение персонала.

3. Расширить спектр источников финансирования экономического роста компании за счет первичного публичного размещения акций на фондовом рынке (ИПО), учитывая высокий (сверхнормативный) уровень финансового левериджа. Тем самым будет обеспечен переход от модели устойчивого экономического роста к модели достижимого экономического роста, что увеличит инвестиционный потенциал компании. Для этого необходимо предварительно внедрить в компании системный подход к управлению стоимостью компании. Это повысит инвестиционную привлекательность компании на рынке капитала и создаст для нее стратегические предпосылки экономического роста.

4. Реализация возможностей компании по увеличению доли рынка и укреплению ранее завоеванных позиций в свою очередь позволит снизить риск возникновения внешних опасностей.

В целом использование вышеперечисленных аналитических инструментов стратегического управления в практике деятельности организаций транспортной отрасли позволяет в ходе исследования определить те области деятельности, в которые необходимо внести улучшения для реализации стратегии роста, приоритеты инвестирования в различные виды бизнеса, направления внутренней и внешней реструктуризации как способа повышения конкурентоспособности российских транспортных компаний на мировом рынке и увеличения их рыночной стоимости.

Список литературы

1. *Виханский О. С.* Стратегическое управление: учебник / О. С. Виханский. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Гардарика, 1998. — 296 с.
2. Официальный сайт компании ОАО «Аэрофлот» [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.aeroflot.ru/cms/about/strategy>
3. Официальный сайт компании ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: http://rzd.ru/static/public/rzd?STRUCTURE_ID=5128&layer_id=3290&id=3716
4. Официальный сайт компании ОАО «Мурманское морское пароходство» [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: http://company.msco.ru/mission_and_strategy/index.shtml
5. *Друкер П.* Практика менеджмента / П. Друкер. — М.: Вильямс, 2007. — 400 с.
6. *Naylor T. H.* The Corporate Strategy Matrix / T. H. Naylor. — N. Y.: Basic Books, 1986.
7. *Портер М.* Конкурентная стратегия: Методика анализа отраслей и конкурентов / М. Портер; пер. с англ. И. Минервина. — М.: Альпина Паблишер, 2011. — 454 с.
8. *Чернов В. А.* Методика SWOT-анализа / В. А. Чернов. — М.: Финансы и статистика, 2001. — 422 с.

ОСНОВНЫЕ ПУТИ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИЯМИ И КОНФЛИКТАМИ ИНТЕРЕСОВ В ТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ РОССИИ

MAIN DIRECTIONS OF INNOVATIONS AND CONFLICTS OF INTERESTS MANAGEMENT IN THE TRANSPORT COMPLEX OF RUSSIA

В статье рассматриваются основные направления зависимости инновационного процесса от эффективности управления конфликтами интересов. Проведен анализ факторов, составляющих конфликт интересов, отрицательно и положительно влияющих на инновационный процесс. Предложены пути минимизации негативного влияния и управления конфликтами интересов, направленные на успешное инновационное развитие транспортного комплекса.

In article the basic directions of the correlation between innovation process and the effectiveness of the conflicts of interests' management are considered. The factor-components of the conflict of interest that influence the innovation process in the positive as well as in the negative way are analyzed. The ways to minimize the negative influence of the conflicts of interests and its management towards successful innovation process development are proposed.

Ключевые слова: инновационное развитие, конфликты интересов, система государственного управления.

Key words: innovation development, conflicts of interests, state management system.

В НАСТОЯЩЕЕ время проводится активная работа по переходу транспортной системы страны на инновационный путь развития. Такой переход требует пересмотра государственной политики в отношении научного обеспечения развития транспорта и подготовки современных кадров. Только внедрение и использование новых знаний и технологий позволит идти по пути формирования интегрированной транспортной системы страны, адекватной современным требованиям безопасности, экологичности, качества и конкурентоспособности, соответствующим наилучшим мировым стандартам, и обеспечивающей растущие потребности отечественной экономики и населения.

Утвержденная Правительством Российской Федерации «Транспортная стратегия на период до 2030 года» предусматривает проведение крупномасштабных прикладных научных исследований в рамках долгосрочных и среднесрочных программ, формируемых с учетом результатов фундаментальных исследований, по совершенствованию конструкций и технологий производства работ по созданию объектов транспортной инфраструктуры, обеспечивающих увеличение межремонтных сроков службы, разработку энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий.

Конфликт интересов, то есть наличие вторичного (в том числе, возможно, коррупционного) интереса наряду с основной обязанностью у лица, принимающего решение, — источник многих проблем в процессе принятия управленческих решений. Вместе с тем своевременная идентификация таких конфликтов и принятие мер по минимизации их негативных последствий может существенно повысить эффективность управления, особенно в инновационной сфере [2, с. 236–242]. В этом смысле можно говорить об управлении конфликтами интересов и инновациями, в том числе на отраслевом уровне.

Инновационное развитие транспортного комплекса России сопровождается значительными изменениями в сложившихся и функционирующих системах и взаимодействиях между ними.

Элементы этих систем по своей природе не склонны к изменениям, особенно в условиях, благоприятных для них, ведь в новых условиях их положение может измениться в худшую сторону [4]. Поэтому интересы этих элементов не совпадают с необходимостью и склонностью системы к модернизации. Только волевые решения высшего руководства, возможно неудобные для элементов системы, могут привести к положительным результатам.

Успешное инновационное развитие транспортного комплекса Российской Федерации нельзя обеспечить только правовыми методами. Необходимо исследовать механизмы действия экономических законов с учетом всех существенных интересов и использовать их в решении всего комплекса проблем, препятствующих созданию системы эффективного обеспечения инновационного развития, отвечающего требованиям XXI в. [1].

Поиск решения проблем обеспечения инновационного развития, как транспортной отрасли, так и всей экономики в целом, требует совершенствования государственного регулирования.

Отсутствие четко структурированного подхода к управлению конфликтами интересов между частными интересами и государственными обязанностями должностных лиц государства может породить коррупцию. Надлежащая задача действенной политики предотвращения конфликта интересов не должна сводиться к простому запрещению каких бы то ни было частных интересов должностных лиц государственных органов, да и вряд ли такой подход был бы возможен. Непосредственная задача должна заключаться в поддержании добропорядочности официальных политических и административных решений и системы государственного управления в целом, имея в виду, что неразрешенный конфликт интересов способен приводить к различным злоупотреблениям служебным положением.

Для выполнения этой задачи необходимо введение и выполнение норм политики, направленной на обеспечение честности и порядочности в государственных органах; обеспечение эффективного выявления риска возникновения конфликтов интересов и разрешение возникших конфликтов; введение соответствующих механизмов внешней и внутренней подотчетности; внедрение соответствующих методов управления, включая санкции, направленные на обеспечение личной ответственности государственных служащих за следование как букве, так и духу таких норм [6].

Следует отметить различные подходы государств-членов Организации экономического сотрудничества и развития к управлению ситуациями, связанными с конфликтами интересов, отражающие различия их исторических и правовых традиций, а также традиций в сфере государственного управления.

Институциональные меры, такие как положительный внешний аудит или проверки, могут играть важную роль в управлении конфликтными ситуациями. Могут оказаться эффективными и другие меры, в том числе ограниченное или полное обнародование раскрытых интересов и/или формирование устойчивой культуры управления, поддерживающей добропорядочность. И все же в такой деликатной сфере, как бюджетное финансирование, инновационной деятельности может быть недостаточно. Более того, многие меры, направленные по замыслу их разработчиков на повышение эффективности бюджетных вложений, порождают конфликты интересов и приводят, наоборот, к снижению эффективности.

Например, лица, имеющие личный интерес в финансировании конкретного инновационного проекта, при особом отношении контролирующих органов к этому проекту в части контроля расхода бюджетных средств, выделенных на этот проект, потеряют интерес и направят свои усилия для «урезания» этого проекта и «перебрасывания» федеральных денежных средств на другие проекты, контроль над которыми меньше.

Еще одна тема, самым непосредственным образом связанная с минимизацией конфликтов интересов, — тема коррупции. Самая большая опасность конфликта интересов состоит в том, что коррупция, обусловленная им, может и не сопровождаться взяткой. Управленческие и хозяйствующие элементы инновационной системы следуют собственным экономическим и карьерным интересам. Инкриминировать им такие действия практически невозможно. Точно так же невозможно совсем исключить конфликты интересов. Они неизбежны уже потому, что государство не

может быть полностью изолировано от общества. Но их негативные последствия, включая коррупцию, можно и нужно минимизировать, причем именно через минимизацию конфликтов интересов можно реально снизить уровень коррупции [9].

Существуют по меньшей мере несколько главных факторов, влияющих на инновационную активность: коммерциализация инновационных идей, спрос, инфраструктура, защита интеллектуальной собственности, наличие технических регламентов и эффективность государственного управления, каждый из которых связан с конфликтами интересов [5].

Поскольку в современных условиях именно наличие передовых наукоемких технологий является фундаментом устойчивого развития экономики, конфликты интересов, возникающие как в государственном, так и частном секторе, тревожат общественность во многих странах мира. Уже давно такие ситуации в государственном и частном секторе стали объектом совершенствования нормативно-правовой базы, законодательства и управленческих подходов, направленных на оптимизацию процедур и механизмов принятия решений, используемых правительством и другими институтами государственной власти.

В последние годы между государственным сектором, с одной стороны, и частным и некоммерческим — с другой, возникли новые разновидности отношений, выражающиеся в более тесных формах взаимного сотрудничества. В том числе активно внедряются различные формы партнерства государства и бизнеса (ГЧП) при создании и внедрении инноваций в транспортный комплекс. Возникают партнерские структуры с участием государственных органов и частных структур, становится обычным создание саморегулируемых объединений (СРО), обмен персоналом. В государственном секторе возникли новые формы занятости, потенциально способные изменить традиционные обязательства сотрудника перед работодателем и проявление лояльности к нему. Как следствие, возникла реальная возможность появления новых форм конфликтов интересов, включающих личную выгоду отдельного государственного должностного лица. В связи с этим растущая обеспокоенность общества заставляет правительства большинства стран мира принимать все меры для сохранения «доброй репутации».

При переходе на инновационный путь развития транспортной отрасли возникает множество конфликтов интересов между государством и частным сектором, так как сложно осуществлять должный государственный поэтапный контроль над использованием выделенных денежных средств на проведение разного вида научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок. Может возникнуть ситуация, при которой затраты на научные исследования не принесут ожидаемого результата. В то же время осуществлять инвестиции в сферу научно-технической деятельности необходимо, а инновации следует внедрять, исходя из соображений значимости для экономики и общества [7].

Многие российские предприятия, функционирующие в транспортной отрасли, в процессе своей деятельности, в том числе инновационной, даже по мелким вопросам упираются в избыточные административные барьеры, что противоречит указаниям Президента и Правительства Российской Федерации «перестать “кошмарить” бизнес». Государственные структуры только в последнее время начали проявлять должный интерес к новым разработкам, представленным малыми и средними предприятиями, а они, в свою очередь, не имеют достаточно собственных средств для апробации и внедрения инноваций в свое производство. Конфликт интересов здесь заключается именно в том, что, по сути, государственные органы власти, не оказывая необходимой поддержки предприятиям в процессе их инновационной деятельности, препятствуют государственному же инновационному развитию, что является одной из важнейших задач России в настоящее время [8].

В свою очередь как крупные, так и малые и средние предприятия также не проявляют интереса к инновациям, поскольку модернизация производства, внедрение новых технологий сопряжены со значительными финансовыми затратами, которые приносят дивиденды лишь в долгосрочной перспективе.

В российских же экономических условиях сложилась такая тенденция, что для субъектов хозяйствования большее значение имеют высокие прибыли в данный конкретный момент, чем

забота о конкурентоспособности предприятия в будущем, в среднесрочной и долгосрочной перспективах.

При этом конфликт интересов следует рассматривать не только как тормоз на пути инновационного развития и источник коррупции, но и как инструмент управления инновациями.

В основе любого процесса всегда лежит интерес того или иного рода. И конфликты интересов реально могут создавать дополнительные стимулы для инноваций. В таком случае инновации выступают как решение для проблем, созданных конфликтом интересов сторон, принимающих участие в процессе, — как компромисс и возможность выйти из тупика, в котором оказались стороны, отстаивая сугубо свои интересы и не желая отступать от намеченной цели, вызванной личными интересами.

Таким образом, получается, что конфликт интересов может рассматриваться не только как наличие коррупционного интереса наряду с основной обязанностью у лица, принимающего решение, но и как препятствие на пути реализации уже утвержденной и согласованной цели, ликвидация которого требует нестандартного, инновационного подхода либо технического, либо управленческого характера [3].

Но при реализации государственной политики, направленной на инновационное развитие, органы государственной власти испытывают конфликты интересов административного характера, ключевым фактором которых является коррупция. Для многих определенных интересов повышение эффективности экономики, в том числе транспортной отрасли, просто невыгодно, ведь это повлечет за собой разрушение устойчивых коррупционных связей и схем [11; 12].

Получается так называемый замкнутый круг — «круговой конфликт инноваций».

Однако при этом отсутствие у субъекта принятия решений коррупционного интереса наряду с основной обязанностью может привести к застою в инновационном развитии отрасли. Известный политолог Станислав Белковский писал: «Чиновник, который взятку не берет, ничего не делает вообще, и там, где нет коррупции, очень часто наблюдается полный паралич бюрократического механизма на всех уровнях». И действительно, официальные заработные платы российских чиновников невысоки, и чтобы чиновник не просто формально выполнял свои обязанности, а еще нес в себе жилку инноваторства, желание реализовывать крупные проекты, необходимы различного рода стимулы. Если есть интерес в том или ином проекте — проект скорее всего будет реализован, по крайней мере конкретный субъект этого интереса приложит все усилия для реализации. В том случае если инновационный проект несет в себе реальную социальную функцию, заведомо несет в себе пользу для общества, для государства, происходит ситуация совпадения интересов всех сторон, задействованных в процессе [10]. Другое дело, чтобы если бы была создана система поощрения должностных лиц официально за успешную реализацию крупных важных инновационных проектов, производителям инноваций и компаниям, которые являются исполнителями проектов, не пришлось бы искать нелегальные способы «заинтересовать» должностное лицо в своем проекте.

Для успешного инновационного развития транспортного комплекса России с учетом создания условий, повышающих эффективность управления конфликтами интересов в течение этого процесса, необходимо следующее:

- перейти на программно-целевой метод планирования внедрения инноваций с обеспечением целевого финансирования отдельных научных программ и мероприятий;
- ежегодно составлять планы внедрения инноваций в строительство, ремонт и содержание дорог с разделением инноваций на массовое и экспериментальное (опытное) применение;
- при планировании внедрения инноваций одновременно предусматривать затраты на подготовку кадров;
- в заданиях на проектирование устанавливать требования к внедрению инноваций на основе ежегодных планов внедрения;
- создать на базе отраслевой науки полигоны для опытно-экспериментальной проверки новых конструкций дорожных одежд, покрытий и материалов, исследований вводно-теплового

режима земляного полотна в реальных условиях воздействия транспортных потоков, в том числе путем выделения специальных полос движения для опытных работ на существующих дорогах и создания усовершенствованного кольцевого стенда для оперативных испытаний новых технологий и материалов под современные транспортные нагрузки;

— сформировать для организации и развития отраслевой лабораторной базы целевую ведомственную программу;

— привлекать для проведения фундаментальных научных исследований академическую науку;

— организовать взаимодействие с наукой ВПК и применение на транспорте высоких технологий двойного назначения;

— ввести в договора с субъектами Российской Федерации обязательства по внедрению инноваций;

— усовершенствовать систему изучения зарубежного опыта с выездом на место групп специалистов с обязательной подготовкой отчетов и рекомендаций;

— провести с привлечением ученых и специалистов инвентаризацию выполненных ранее научных разработок с выбором наиболее актуальных для внедрения работ.

Список литературы

1. Баркер А. Алхимия инноваций / А. Баркер; пер. с англ. А. Р. Ханукаевой. — М.: Вершина, 2003. — 222 с.

2. Дарендорф Р. Современный социальный конфликт / Р. Дарендорф // Иностранная литература. — 1993. — № 4.

3. Коррупция и борьба с ней: сущность и классификация коррупции / В. М. Ланцов [и др.]. — Казань: ЗАО «Новое знание», 2009.

4. Философова Т. Г. Конкуренция. Инновации. Конкурентоспособность: учеб. пособие / Т. Г. Философова, В. А. Быков. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2008. — 295 с.

5. Conflict of interest: Workshop Summary // Lister Hill Auditorium, National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, September 30, 2002.

6. Financial Conflict of Interest: Objectivity in Research / National Institutes of Health (NIH) // Office of Extramural Research, July 18, 2002 [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: http://grants1.nih.gov/grants/policy/coi/nih_review.htm

7. Андреева Т. Стратегия инноваций в транспортной сфере / Т. Андреева // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2008. — № 34.

8. Карвер Дж. А. Конфликт интересов как составная часть коррупции / Дж. А. Карвер // Чистые руки. — 2000. — № 4.

9. Коррупция мешает России совершить экономический прорыв // Новая газета.— 2008. 7 февр.

10. Белковской С. Россию без коррупции разобьет паралич / С. Белковской. — М.: Свободная пресса, 2010.

11. Сатаров Г. Как измерять и контролировать коррупцию? / Г. Сатаров // Вопросы экономики. — 2007. — № 1.

12. Сатаров Г. Разнообразие стран и разнообразие коррупции: Анализ сравнительных исследований: аналит. докл. / Г. Сатаров, С. Пархоменко; Фонд ИНДЕМ. — М., 2001.

УДК 656.078.13

В. И. Костин,
канд. физ.-мат. наук, доцент,
ФБОУ ВПО «Московская государственная
академия водного транспорта»;

А. Б. Косыгин,
ОАО «Московское речное пароходство»

О НЕКОТОРЫХ ФАКТОРАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА НАЦИОНАЛЬНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ РОССИИ

ON SOME FACTORS THAT AFFECT THE NATIONAL SECURITY OF RUSSIA

В статье исследуется система угроз экономической безопасности России, среди которых выделяются угрозы объективные и субъективные, внешние и внутренние, реальные и потенциальные, долговременные и текущие, прямые и опосредованные; показано, что особого внимания требуют потенциальные угрозы, которые при несвоевременном реагировании способны стать реальными.

In this paper we study a system of threats of economic security of Russia, among which are threats to the objective and subjective, external and internal, real and potential, and current long-term, direct and indirect, it is shown that special attention should be given the potential threat that if untimely response can become a reality.

Ключевые слова: угроза экономической безопасности, потенциальные угрозы, глобальные угрозы, национальная безопасность, национальные интересы.

Key words: a threat to economic security, potential threats, global threats, national security, national interests.

В ОПРОСЫ национальной безопасности занимают ключевое место в экономико-политической жизни общества, во многом определяя стратегию развития государства, вектор его промышленного и социального развития. В. В. Путин в своей статье [1] прямо говорит, что «нашу задачу на предстоящие годы вижу в том, чтобы убрать с дороги национального развития все то, что мешает нам идти вперед. Завершить создание в России такой политической системы, такой структуры социальных гарантий и защиты граждан, такой модели экономики, которые вместе составят единый, живой, постоянно развивающийся и одновременно устойчивый и стабильный, здоровый государственный организм. Способный безусловно гарантировать суверенитет России и процветание граждан нашей великой державы на десятилетия вперед. Отстоять справедливость и достоинство каждого человека. Правду и доверие в отношениях государства и общества».

Экономическую безопасность страны определяют те реальные и потенциальные деструктивные факторы безопасности, которые имеют самые разнообразные проявления и выступают как потенциальные угрозы. Внешние и внутренние угрозы экономической безопасности России определяются как совокупность «условий и факторов, создающих опасность для жизненно важных экономических интересов личности, общества и государства» [2].

Формирование угрозы, как правило, связано с наличием кризиса, кризисной ситуации или катастрофы, то есть фактора с деструктивным содержанием. Угроза представляет собой непосредственную *опасность*, на которую требуется своевременная реакция. В этом она отличается от *риска*, представляющего собой *опасность* возможную, требующую в первую очередь лишь профилактических действий. При этом особое внимание следует уделять понятию *уязвимости*. Эта характеристика представляет собой показатель состояния безопасности, свидетельствующего в первую очередь о ее потенциальной незащищенности. Угроза экономической безопасности является подсистемой в системе угроз национальной безопасности.

Возможность нанесения ущерба суверенитету и территориальной целостности государства, его безопасности и обороне, конституционным правам, свободам и уровню жизни граждан, устойчивому развитию страны составляет суть *угрозы национальной безопасности*. Национальный уровень экономической безопасности связан с обеспечением защищенности жизненно важных интересов граждан, общества и государства, обеспечением невмешательства в развитие государства со стороны иных государств, предотвращением экологических угроз национального масштаба, гарантией рационального использования природных ресурсов, обеспечением развития сферы науки и образования, повышением эффективности функционирования всех отраслей народного хозяйства, в том числе транспортных инфраструктур, обеспечением экономической свободы и социальной справедливости, реализацией социальной защиты населения и повышением уровня его жизни, обоснованием системы приоритетов решения социально-экономических задач, сохранением национальных ценностей и образа жизни, обеспечением гармоничного развития страны.

Главная *угроза экономической безопасности страны* представляет собой возможность нанесения ущерба экономике страны в целом и ее отраслям в частности, финансово-кредитной системе государства, а также возможность нарушения социально-экономической стабильности общества и экономического положения человека. В соответствии с Государственной стратегией экономической безопасности Российской Федерации [2] в качестве наиболее вероятных угроз, на локализацию которых должна быть направлена деятельность федеральных органов государственной власти, определены:

1. Увеличение имущественной дифференциации населения и повышение уровня бедности, что ведет к нарушению мира и общественного согласия. Наиболее опасными здесь являются такие факторы, как расслоение общества на узкий круг богатых и преобладающую массу бедных; увеличение доли бедных слоев в городе, что ведет к росту наркомании, организованной преступности; рост безработицы; задержка выплаты заработной платы.

2. Деформированность структуры российской экономики, обусловленная:

- усилением ее топливно-сырьевой направленности;
- свертыванием производства в жизненно важных отраслях;
- подрывом научно-технического потенциала страны;
- вытеснением отечественной продукции с внешних и внутренних рынков;
- ростом внешнего дога и увеличением выплат на его обслуживание.

3. Возрастание неравномерности социально-экономического развития регионов, связанное с различиями в уровне их развития, с наличием депрессивных, кризисных и отсталых в экономическом отношении районов, нарушением производственно-технологических связей между предприятиями отдельных регионов, увеличением разрыва в уровне производства национального дохода на душу населения между отдельными субъектами России.

4. Криминализация общества и хозяйственной деятельности, вызванная ростом безработицы, сращиванием части чиновников государственных органов с организованной преступностью, ослаблением системы государственного контроля.

Таким образом, в настоящее время основные угрозы экономической безопасности России связаны:

- с недостаточным уровнем развития промышленного сектора;
- неконкурентоспособностью многих производимых в России товаров и услуг на мировом рынке;
- ценовыми диспропорциями, обострившимися в ходе либерализации экономики;
- сложным положением отраслей, обеспечивающих потребительский рынок, — легкой и пищевой промышленности, машиностроения, оборонного комплекса;
- развитием теневой экономики.

В настоящее время можно констатировать, что многие из угроз, определяемых Стратегией, преодолены и утратили актуальность. Рост ВВП и рост цен на топливо и сырье, наблюдаемые с 2004 г., привели к состоянию профицита бюджета, существенному улучшению экономической си-

туации и преодолению спада инвестиций в доходы населения, долговой зависимости страны, настроений сепаратизма в отдельных субъектах Федерации, напряженности отношений регионов и центра, сокращения рождаемости [3, с. 32]. Существенно повысились политическая стабильность в обществе и управляемость экономикой, восстанавливает утраченные позиции высокотехнологичный оборонный комплекс, растут доходы населения.

На сегодняшний момент остаются следующие угрозы экономической безопасности:

— диспропорции в структуре экономики, где небольшую долю в ВВП составляют высокотехнологичные отрасли, а отрасли топливно-энергетического комплекса составляют до 40 % доходов федерального бюджета;

— низкая конкурентоспособность продукции, где доля импорта с 36 % в 1999 г. увеличилась до 47 % в 2007 г.;

— вывоз капитала за рубеж (в 1992–2000 гг. нелегализуемый вывоз капитала составил 200 млрд долл., в 2001–2006 гг. отток капитала стал существенно меньше, в 2007 г. объем вывезенного из России капитала — в связи с мировым кризисом — существенно увеличился);

— рост корпоративного внешнего долга — если внешний долг в 2007 г. составил 4 % к ВВП, то корпоративный внешний долг составил 20 % к ВВП, что не достигает пока пороговых значений, но приближается к критической величине;

— нестабильная инвестиционная активность, угрожающая постепенности экономического развития:

— сохраняющееся расслоение общества по имущественному признаку (отношение доходов 10 % наиболее обеспеченных к 10 % наименее обеспеченных увеличилось с 14 в 2005 г. до 15,3 % в 2006 г. и до 16,8 % в 2007 г.); рост числа граждан, живущих за чертой бедности (к 2006 г. это число снизилось до 15 % по сравнению с 29 % в 2000 г., но все равно превышает пороговые значения в 2 раза); безработица; сокращение средней продолжительности жизни и рождаемости, усиливающаяся деформация демографического состава населения за счет уменьшения трудоспособного населения, что требует, к примеру, проведения пенсионной реформы и т. д.;

— разрыв уровней экономического и социального развития между субъектами Федерации, достигающий 10 раз и превышающий различие между странами ЕС в 2,5 раза [3, с. 53–54].

Рассматривая экономические угрозы, необходимо отметить уровень их значимости для реального сектора экономики. Авторы оценивают его различным образом, иногда ограничиваясь выделением одной пары (например, внешних и внутренних угроз [4, с. 43, 48]). В рамках же системного подхода необходимо ориентироваться на комплексное рассмотрение данной проблемы, где учитывается многоаспектность функционирования сферы экономической безопасности и принимается во внимание мнение различных исследователей по данному вопросу.

В рамках такого рассмотрения наиболее важными из угроз экономической безопасности являются угрозы внешние и внутренние, долговременные и текущие, объективные и субъективные, реальные и потенциальные, прямые и опосредованные.

1. Угрозы экзогенные (внешние) и эндогенные (внутренние). Внешние угрозы в современных условиях имеют особое значение, поскольку современное развитие отличается от предыдущего этапа принципиально новыми характеристиками.

Если пользоваться терминологией социальной философии, применяемой в границах цивилизационного подхода к историческому процессу и фиксирующей различные стадии развития человечества по пути технологического прогресса, то современное общество можно рассматривать как постиндустриальное, пришедшее на смену традиционному и индустриальному. Эти типы общества сопоставимы по таким параметрам, как основной производственный ресурс (сырье, энергия, информация), тип производственной деятельности (добыча, изготовление, последовательная обработка), характер базовых технологий (трудоемкие, капиталоемкие и наукоемкие). Современное постиндустриальное общество характеризуется наличием в нем комплексного социального взаимодействия [5, с. 16–17]. Это означает то, что взаимодействие между людьми носит характер межличностных отношений и определяется не воспроизводством опыта предыдущих поколений,

а совместным поиском оптимальных решений, обладающих принципиальной новизной. Это является принципиальным отличием от системы связей, существовавших в традиционном обществе, где взаимодействие человека осуществлялось напрямую с природой или с преобразованной природой, как это было в индустриальном обществе.

Постиндустриальное общество отличается ростом интенсивности экономического и финансового взаимодействия между государствами, интеграцией финансовых рынков, транснационализацией экономических связей, где наиболее мощные ТНК контролируют более 90 % прямых зарубежных капиталовложений в странах Запада и до 100 % инвестиций в экономику стран третьего мира, усилением политического взаимодействия стран и созданием международных организаций и институтов (таких как МВФ, Всемирный банк, ВТО), призванных поддерживать сложившийся в послевоенный период новый экономический порядок и не допускать перераспределения рынков сбыта и ресурсов.

Сегодня является очевидным, что общемировое развитие представляет собой глобальный социально-экономический процесс. Об этом свидетельствует и характер мировых экономико-политических тенденций, и наличие глобальных угроз человечеству, впервые обозначенных в первых докладах Римскому клубу — международной общественной организации (образована в 1968 г.), в которую входят около ста крупных бизнесменов, политиков, топ-менеджеров крупных компаний, экспертов, представителей культуры из стран Западной Европы, Северной и Южной Америки и др. Глобальные проблемы носят динамический характер в период с 1945 г., момента окончания Второй мировой войны, до 1991 г. — распада Советского Союза — такой проблемой была *гонка вооружений между СССР и США и угроза ядерной войны*. В 1998 г. в число ядерных держав вошли Индия и Пакистан, «околоядерными» называют ЮАР, Израиль, Иран, КНДР, Японию, Тайвань, Бразилию, Аргентину [6, с. 114–117]. Сегодня угроза войны и милитаризации национальных экономик становится второй по значимости, уступая место *угрозам бедности и отсталости*, связанным с растущим разрывом в уровне качества жизни «богатого Севера», где проживает 20 % мирового народонаселения, и «бедного Юга» — слаборазвитых стран Азии, Африки и Латинской Америки. В этих странах до 90 % населения лишены полноценного питания, доступа к образованию (неграмотность распространена среди 17 % взрослого населения в Бразилии, 43 % в Нигерии, 48 % в Индии [6]).

Угроза нехватки продовольствия касается не только слаборазвитых стран, но и мировых лидеров, что связано с сокращением площадей сельскохозяйственных территорий ввиду развития урбанизации, снижением производства морепродуктов, связанного с загрязнением акваторий рек и морей, с ожидаемым ростом населения планеты до 10 млрд человек, с нерациональным использованием территорий, приводящим к повышению импорта продуктов питания (США ежегодно выделяют из бюджета около 22 млрд долл. на импорт фруктов, овощей, чая, какао, специй; объем закупок России превышает сумму в 10 млрд долл., расходуемых на оплату поставок мяса, сахара, зерна, молока). ООН отнесла 37 стран мира к остро нуждающимся в продовольственной помощи.

Эта проблема находится в поле зрения руководства нашей страны. В. В. Путин отмечает: «отдельная тема — сельское хозяйство. Аграрный сектор нашей экономики демонстрирует за последние годы хорошие темпы роста. Практически все развитые страны в той или иной форме поддерживают, субсидируют своих сельскохозяйственных производителей, и Россия здесь не исключение. Причины две. Во-первых, в условиях неопределенности мирового рынка, значительных колебаний цен на продовольствие *аграрная безопасность — способность страны самостоятельно себя прокормить — является не менее важным условием экономической и социальной стабильности*, чем равновесный бюджет или надежная валюта. Во-вторых, и это опять-таки важно не только для России, аграрный сектор выступает важным элементом сохранения в экономике конкурентной среды, формирования малого и среднего бизнеса — “подлеска” здорового капитализма» [1].

Статус глобальных носят угрозы экологической безопасности и истощаемости природных ресурсов, выражающиеся в энергетических и сырьевых кризисах, наиболее тяжелыми из которых

отмечались проблемы 1970–1980-х гг. Эти факторы приводят к феномену экологизации сознания, которое выступает как «процесс неуклонного и последовательного внедрения систем технологических, управленческих и других решений, позволяющих повышать эффективность использования естественных ресурсов и условий наряду с улучшением или хотя бы сохранением качества природной среды... на локальном, региональном и глобальном уровнях» [7, с. 831]. Зависимость от внешних поставок энергоносителей характеризует развитие многих стран Европы, Азии и Америки. Прогнозные исследования говорят о том, что к 2030 г. зависимость Западной Европы от импорта природного газа будет составлять 80 % по сравнению с нынешними 50 %.

Среди глобальных угроз нельзя недооценивать и такие, как угрозы международного терроризма, мировых эпидемий «социальных болезней», загрязнения Космоса и Мирового океана. Опасным является нарушение торгового и финансового баланса, при котором задолженность слаборазвитых стран перед высокоразвитыми превышает триллионы долларов. Очевидно, что такая задолженность не может быть погашена в разумные сроки, и она может стать источником опасности и средством манипуляции на национальном уровне.

Осознавая это, В. В. Путин замечает, что «мы должны очень аккуратно проводить бюджетные заимствования, постоянно помня несколько уроков из недавней мировой и российской экономической истории. Во-первых, значительный долг — это всегда отказ от части независимости страны. Он создает ситуацию, когда любое ухудшение экономической конъюнктуры ставит страну в зависимость от инвесторов, международных организаций, стран-кредиторов, которые диктуют правительству, какие меры оно должно принимать. С этой точки зрения Россия сегодня находится в выгодном положении по сравнению с другими странами, имея например, самый низкий уровень государственного долга среди всех стран Большой двадцатки. И мы должны сохранять это свое преимущество как залог макроэкономической безопасности.

Второй момент состоит в том, что когда люди дают своему государству в долг, это всегда вычит из финансовых ресурсов, которые могли бы быть направлены на частные инвестиции. И если мы хотим наращивать их уровень, то не должны поддерживать значительный бюджетный дефицит» [1].

Не менее принципиальными являются проблемы, связанные с демографическим балансом, состоянием образования и культуры. Усиливается угроза, связанная с транспортным балансом, где только на автодорогах в катастрофах погибает четверть миллиона людей и около миллиона получает серьезные ранения. Так, в России за 2010 г. на автомобильных дорогах и улицах погибло 26 600 человек, получило ранения 250 600 человек. Повышаются риски морских и речных¹, авиа- и железнодорожных рейсов в связи с ростом международного терроризма.

Политической глобалистикой выработаны подходы к обеспечению глобальной безопасности. *Натуралистический подход* говорит о том, что опасность для человека представляет все, что его окружает, и, значит, для предотвращения опасности следует оградиться от опасного окружения. Сторонники *деятельностного подхода* в качестве источника опасности рассматривают саму человеческую деятельность, и, как следствие, для предотвращения опасностей необходимо правильно эту деятельность организовать. Эти два подхода объединяет *интегративный*, более реалистичный подход, который исходит из необходимости учета и субъективных, и объективных источников опасности.

Названные глобальные тенденции, присущие современному этапу развития, усложняются еще рядом факторов, усиливающих элемент неопределенности. Среди них — усиление конкуренции между Россией и другими государствами; постоянное увеличение массы капиталов и возрастание скорости их переводов и соответственно увеличение их подвижности; вхождение в мировую экономику развивающихся стран, увеличивающее степень глобальной неустойчивости; внедрение информационных технологий в экономическую и финансовую сферу, создание «скоростной», по

¹ В России, по материалам пресс-службы Минтранса России и Росморречфлота, «практически отсутствуют факты преступлений террористического характера в отрасли» [8, с. 43]. Сегодня усиливаются риски в речном транспорте, связанные с эксплуатацией судов с истекшим сроком эксплуатации, о чем свидетельствует катастрофа судна «Булгария».

М. Кастельсу, финансовой системы, функционирующих в сетевой среде в режиме реального времени, следствием чего становится возрастание значения фактора неопределенности.

О значимости внешних угроз для любого государства свидетельствует факт осуществления во множестве стран мира (Японии, Южной Кореи, странах ЮВА, некоторых государствах Латинской Америки) экзогенной модернизации, обусловленной давлением внешних факторов, а не внутренней потребностью элит и народа. Тот же путь, по-видимому, предстоит пройти и России, стремящейся преодолеть воздействие внешних угроз — прежде всего усиливающейся глобальной конкуренции — посредством модернизации экономико-политической системы и общественных отношений.

Что касается *внутренних (эндогенных) угроз России*, то в настоящее время это в первую очередь деиндустриализация страны и сохранение деформированности структуры экономики. В. В. Путин пишет, что «мы прошли через “деиндустриализацию”, структура экономики сильно деформирована. Крупный частный капитал добровольно не идет в новые отрасли — не хочет нести повышенных рисков. Безусловно, мы будем использовать налоговые и таможенные стимулы, чтобы инвесторы направляли средства в инновационные отрасли. Но это может дать эффект через несколько лет — а может и не дать, если в мире откроются более привлекательные инвестиционные возможности. У капитала ведь нет границ. Готовы ли мы так сильно рисковать будущим России ради чистоты экономической теории? Именно приоритетами промышленной политики были продиктованы наши действия по созданию крупных госкорпораций и вертикально интегрированных холдингов от Ростехнологий и Росатома до ОАК и ОСК. Цель была — остановить развал интеллектуальных отраслей нашей промышленности, сохранить научный и производственный потенциал за счет консолидации ресурсов и централизации управления. Эта цель может считаться достигнутой. Мы должны были собрать формально принадлежавшие государству разрозненно управляемые активы, зачастую потерявшие связь с научными и конструкторскими центрами. Итогом реализации стратегий отраслевых холдингов должно стать создание глобально конкурентоспособных корпораций, высоко капитализированных, нашедших и расширяющих свое место на мировом рынке. Именно такие корпорации, сочетающие деятельность, начиная от перспективных исследований и разработки продукции и заканчивая производством, поставкой и обслуживанием высокотехнологичного продукта, владеют сегодня мировым рынком авиастроения, судостроения, компьютерных технологий, фармацевтики, медицинской техники. Они же дают заказы малым инновационным компаниям, скупают удачные стартапы. Пока большинство интегрированных структур не стали ни глобально конкурентоспособными, ни высококапитализированными, ни даже устойчиво прибыльными. Мы не собираемся бросать начатое на полдороге — кое-где, как в Авиапроме, непростой процесс консолидации активов удалось завершить только сейчас. Но очевидно, что назрел аудит жизненности каждого такого проекта. Сегодня им необходим топ-менеджмент с высокими компетенциями в инновационном бизнесе» [1].

Институциональная незавершенность экономических преобразований, несовершенство законодательства и нормативно-правовой базы, слабая координация взаимосвязей реального и финансового секторов, ограниченные возможности по страхованию рисков, а также ухудшение состояния научно-технического потенциала являются следующим пластом внутренних угроз экономической и национальной безопасности государства.

Много говорится и об изъятии из внутреннего оборота финансов и интеллекта, нарастании безработицы и дифференциации в доходах населения. К этому же разряду относится и социально-демографическая безопасность, связанная с процессами воспроизводства населения и обеспечением населения достойными условиями жизни.

2. Важно выделить угрозы *текущие* — рассчитанные на реализацию в краткосрочной временной перспективе, и *долговременные* — рассчитанные на реализацию в значительной временной перспективе. Угрозы экономической безопасности страны зачастую имеют динамический характер, способность к локализации и возникновению, что позволяет говорить об угрозах реальных и потенциальных. В частности, для периода 2000-х гг. были характерны такие угро-

зы, как «усиление отраслевой структурной деформации экономики; снижение инвестиционной и инновационной активности и разрушение научно-технического потенциала; усиление тенденции к превращению России в топливно-сырьевую периферию развитых стран; усиление импортной зависимости; постоянная утечка из страны валютных ресурсов; углубление имущественного расслоения общества; значительная внешняя задолженность; усиливающаяся открытость экономики; криминализация экономических отношений в стране». В 2000-е гг. было очевидно, что одна из главных угроз безопасности России — «дальнейшее усиление отраслевой структурной деформации экономики», которая «воспроизводит сложившиеся в прошлом народнохозяйственные диспропорции и усиливает обусловленные ими аномалии экономики».

Суть унаследованной от СССР структурной отраслевой деформации состояла в гипертрофированном развитии отраслей ВПК, ТЭК и тяжелой промышленности, с одной стороны, и чрезвычайно отсталом состоянии отраслей и сфер производства, работающих непосредственно на удовлетворение потребностей и нужд человека, — с другой. Как отмечалось в работе [3, с. 106], «отставание легкой и пищевой промышленности, индустрии услуг и быта, а также последствия “отраслевых” кризисов 1990-х — армии, социальной сферы, образования и воспитания, государственного администрирования, правового регулирования и т. д.», которые «были симптомами и слагаемыми разрушения общества модерна в отдельно взятой стране», создают колоссальные трудности для перехода в режим рыночных отношений с подобным состоянием промышленной инфраструктуры.

Можно говорить, что на текущий момент многие из названных угроз преодолены — военно-промышленный комплекс сокращен и реформирован (хотя, конечно, нельзя говорить о завершенности процессов в этой сфере), активно развивается сфера услуг, хотя в тяжелой промышленности наблюдается сокращение объемов производства.

Однако поскольку сектор тяжелой промышленности составляет основу любой экономики, деиндустриализация, в том числе в высокотехнологичных секторах экономики, становится симптомом демодернизации и выступает как новая угроза экономической безопасности. Важно также отметить и то, что интенсивное развитие сферы услуг приводит к вытеснению цивилизации труда цивилизацией досуга и соответственно к эрозии этических оснований общества. Об этом, в частности, говорится в Независимом экспертном докладе «Модернизация России как построение нового государства», подготовленном в рамках общественной дискуссии о модернизации страны, которая была инициирована президентом России, и представленном 29 октября 2009 г. в Институте современного развития (ИНСОР) [9].

3. Следует обратить внимание на наличие следующих *реальных* угроз экономической безопасности России, таких как:

- снижение производственного потенциала ввиду высокого износа основных фондов;
- утрату рынков сбыта;
- низкую конкурентоспособность продукции;
- наличие внешних долговых обязательств;
- вывоз капитала за рубеж;
- опасность обострения финансового кризиса;
- низкий уровень жизни населения;
- недостаточность социальной защищенности населения;
- большой разрыв в доходах наиболее богатых и наиболее бедных.

Решение этих проблем сопрягается с необходимостью учета угроз *потенциальных*, имеющих перспективу реализации в течение десяти и более лет. Это, во-первых, научно-технологическое отставание от США, Японии, Индии, Китая, Кореи, стран ЕС, Бразилии и Израиля; во-вторых, зависимость от иностранной рабочей силы; в-третьих, обострение экологических проблем, которое может принять катастрофический характер и, в-четвертых, наличие коррупционной составляющей в управлении национальной экономикой.

При составлении аналитических прогнозов важно верно определить *потенциальные* угрозы стране. Так, член-корреспондент Академии военных наук Д. В. Гордиенко представляет несколько

прогнозов относительно возникновения угроз экономической безопасности России — до 2016, до 2020 и до 2030 г. [6].

В качестве *основных угроз до 2016 г.*, по мнению автора, будут фигурировать:

— обострение конкурентной борьбы за источники сырья и рынки сбыта продукции в границах ВТО; экспансия на мировых рынках стратегических ресурсов и сбыта продукции Китая и США;

— научно-техническое и технологическое отставание от развитых государств мира (США, Японии, Китая, Республики Кореи, стран Евросоюза) в таких отраслях экономики, как добыча полезных ископаемых, металлургия, машиностроение, электроника, электроэнергетика, оборонно-промышленный комплекс, сельское хозяйство;

— преобладание топливно-сырьевой и энергетической составляющих в экспортных поставках и продовольствия и высокотехнологичной продукции в импортных;

— технологическая зависимость от иностранных государств, связанная с необходимостью привлечения иностранного капитала, вывоз капитала, слабая развитость и изолированность финансового и фондового рынков от мировых;

— отсутствие единого экономического пространства, слабая связь экономики регионов, слабая развитость транспортных коммуникаций, низкая мобильность экономики;

— демографический кризис и снижение численности населения страны, ухудшение качества жизни;

— ухудшение подготовки специалистов, выезд за рубеж наиболее квалифицированных специалистов;

— развитие теневой экономики, коррупция;

— экологические проблемы.

Основными угрозами до 2020 г., как показывает автор, останутся в основном те же. Из них будут преодолены: неравномерность регионального развития и отсутствие единого экономического пространства; недостаточность развития телекоммуникаций; слабая развитость малого бизнеса. Вместе с тем обострятся проблемы нехватки трудовых ресурсов, которые потребуют привлечения зарубежной рабочей силы.

До 2030 г. основными угрозами в сфере экономики — в дополнение к обозначенным — станут: научно-технологическое отставание от Индии, Бразилии и Израиля; зависимость от иностранной рабочей силы; обострение экологических проблем, которое примет катастрофический характер; коррупция в управлении национальной экономикой.

4. Среди прочих В. К. Сенчагов [3] особо выделяет угрозы *прямые* и *опосредованные*. Прямыми угрозами являются: спад производства; структурная деформированность страны; высокий возрастной уровень основных фондов; низкий технико-технологический уровень производства; низкая инновационная активность в большинстве отраслей производства; ухудшение инновационного потенциала; увеличение материалоемкости и энергоемкости продукции; рост безработицы; снижение профессиональной квалификации кадров; криминализация корпоративных отношений; слабое использование природно-ресурсного потенциала; коррупция в сфере регулирования отношений собственности.

Среди *опосредованных* угроз экономической безопасности выделяются: низкая конкурентоспособность продукции; преобладание сырьевой направленности экспорта; зависимость от импорта техники и технологий; дискриминационные меры к российским товарам на мировых рынках; низкий уровень притока инвестиций; криминальная борьба за передел собственности; неэффективная валютная, налоговая и таможенная политика государства; слабая кредитно-банковская поддержка реального сектора; вывоз капитала за рубеж; межотраслевые ценовые диспаритеты; отсутствие реальной протекционистской политики государства по отношению к отечественным производителям.

5. Угрозы *объективные*, связанные с воздействием факторов, не зависящих от вмешательства человека (изменения в природной среде, экологические катастрофы, не связанные с человеческой

деятельностью), и *субъективные*, обусловленные деятельностью человека (ошибки и недоработки человеческой деятельности).

Таким образом, представленные угрозы, так же как и экономическая безопасность, в целом имеют достаточно сложный, комплексный характер содержания и функционирования. Они проявляются на различных уровнях инфраструктурного развития общественно-политической системы государства, и задача этой системы состоит в том, чтобы ее стратегическое развитие предполагало надлежащие учет и контроль установленной системы угроз, а также своевременное принятие решений по их нейтрализации, обеспечивающее устойчивое развитие страны в системе стремительно глобализирующегося мира.

Список литературы

1. *Путин В. В.* Россия сосредотачивается. Ориентиры / В. В. Путин. — М.: ОЛМА Медиа Групп, 2012. — 128 с.
2. Государственная стратегия экономической безопасности Российской Федерации (Основные положения): одобрена Указом Президента Рос. Федерации от 29 апреля 1996 г. № 608.
3. Экономическая безопасность России: Общий курс: учебник / под ред. В. К. Сенчагова. — М.: БИНОМ: Лаборатория знаний, 2010. — 815 с.
4. *Швец М. Ю.* Обеспечение экономической безопасности России на основе развития производительных сил регионов (методологические и методические аспекты): дис. ... д-ра экон. наук / М. Ю. Швец. — М., 2002.
5. *Иноземцев В. Л.* Современное постиндустриальное общество: природа, противоречия, перспективы / В. Л. Иноземцев. — М., 2000.
6. *Гордиенко Д. В.* Основы экономической безопасности государства: курс лекций / Д. В. Гордиенко. — М.: Финансы и статистика: ИНФРА-М, 2009.
7. Большой экономический словарь / под ред. А. Н. Азрилияна. — 2-е изд., доп. и перераб. — М.: Ин-т новой экономики, 1997.
8. *Кобранов С.* Безопасно! / С. Кобранов // Речной транспорт (XXI век). — 2011. — № 3.
9. Модернизация России как построение нового государства: независимый эксперт. докл. / И. Пономарев [и др.]; Агентство полит. новостей. — 2009 [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.apn.ru/publications/article22100.htm> (дата обращения: 17.05.2012).

ИСТОРИЯ НАУКИ

УДК 531.3: 534.3: 539.3

М. В. Сухотерин,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК

НАУЧНАЯ ШКОЛА ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ В СПГУВК

ACADEMIC SCHOOL OF APPLIED MATHEMATICS AND MECHANICS
IN THE SPSUWC

В статье кратко изложена история становления и развития школы прикладной математики и механики с момента создания Института корпуса инженеров водяных и сухопутных сообщений в 1809 г., из которого затем выделился ЛИИВТ–ЛИВТ–СПГУВК, до настоящего времени.

The paper gives a brief history of development of the School of applied mathematics and mechanics from the formation of the Institute of corps of engineers of water and land communications in the year of 1809 (from which LIWT–LIWT–SPSUWC picked out) to the present.

Ключевые слова: прикладная математика и механика, школа, становление и развитие, ПИИПС, СПГУВК, ученые, научный вклад.

Key words: applied mathematics and mechanics, school, formation and development, PIIC, SPSUWC, academics, scientific result.



ПРИКЛАДНАЯ математика и механика как научное направление решает сложные задачи механики систем, жидкости и газа, деформируемого твердого тела, математической физики и вычислительной математики, что предполагает использование математического аппарата высокого уровня.

После создания в Петербурге в 1809 г. предтечи СПГУВК — Института корпуса инженеров водяных и сухопутных сообщений (с 1810 г. — Институт корпуса инженеров путей сообщения) наряду с подготовкой инженерных кадров началась активная работа по решению актуальных научно-технических задач в области транспорта.

Важное место в программе обучения занимали математика, а также классическая и прикладная механика. Именно тогда, с первых дней основания института, в нем стали складываться научные направления и школы в области математики и механики.

Лекции по чистой и прикладной математике в институте начали читать академик В. И. Висковатов (1779–1812) и профессор И. С. Резимон (1768–1844). В 1810 г. приступил к преподаванию приглашенный из Парижа профессор математики А. Я. Фабр (1782–1844), а в 1812 г. — профессор Д. С. Чижов (1785–1853).

Лекции по математике и механике с 1811 г. читал профессор А. И. Маюров (1780–1848), окончивший в Париже Политехническую школу и Школу мостов и дорог. Летом 1813 г. для чтения курса лекций по механике был приглашен академик С. Е. Гурьев (1766–1813), автор разработок по теории равновесия сводов, затем его сменил Д. С. Чижов.

Французский инженер-механик и математик, профессор П. П. Базен (1786–1838) был вторым ректором Института корпуса инженеров путей сообщения после А. А. Бетанкура. Он работал в институте с 1810 по 1836 г., был избран почетным членом Петербургской академии наук. В 1825 г. предложил проект защиты Петербурга от наводнений, который предусматривал строительство дамбы длиной около 20 км по линии Лисий Нос–остров Котлин–Ораниенбаум. Его идея была воплощена лишь в конце XX в. По проекту П. П. Базена в 1823 г. в Петербурге был построен первый висячий мост в Екатерининском парке. Он руководил также строительством Обводного канала,

ряда других зданий и сооружений. В 1826 г. им был основан «Журнал путей сообщения», в котором стали публиковаться труды преподавателей и сотрудников института. В 1820 г. П. П. Базен пригласил из Парижа двух талантливых выпускников Политехнической школы Б. Клапейрона и Г. Ламе, впоследствии ставших учеными с мировым именем.

Б. Клапейрон (1799–1864) преподавал аналитическую и прикладную механику, а также химию и строительное искусство до 1831 г. Он вместе с Г. Ламе является автором трактата, в котором изложены общие уравнения теории упругости, дана геометрическая интерпретация напряженного состояния в виде эллипсоида напряжений; решен ряд задач теории упругости, в частности задача определения напряжений в полой толстостенной цилиндрической оболочке, нагруженной внутренним и наружным давлением.

Г. Ламе (1795–1870) преподавал (до 1831 г.) аналитическую механику, физику и высшую математику. По его инициативе в 1824 г. была построена первая в России машина для испытания материалов на растяжение. В том же году Г. Ламе был избран членом-корреспондентом Петербургской академии наук.

Дисциплина «Прикладная и практическая механика» была введена в программу преподавания в 1823 г. Этот курс был выделен из курса аналитической механики как самостоятельный. В этом же году в курсе построений был введен новый раздел «Строительная механика».

С 1831 г. во главе курсов механики, математики и физики встал академик Петербургской академии наук М. В. Остроградский (1801–1861) — выдающийся русский математик и механик. Его математические труды относятся к математическому анализу, алгебре, теории чисел и т. д. В частности, его имя носит теорема о преобразовании поверхностного интеграла в объемный. В области механики он решил задачу о распространении волн по поверхности жидкости в цилиндрическом бассейне; опубликовал работы по теории распространения тепла в твердых телах и жидкостях; в теоретической механике его имя носит вариационный принцип Гамильтона–Остроградского. Им построена общая теория удара, исследовалось движение сферических снарядов и т. д.

В 1833 г. профессором по курсу прикладной механики был назначен П. П. Мельников (1804–1880), автор первого русского теоретического труда по железнодорожному делу, почетный член Петербургской АН (1858), участник проектирования и строительства железной дороги Петербург–Москва.

Первый в России учебник по сопротивлению материалов был издан Н. Ф. Ястржембским в 1838 г., а раздел «Сопротивление материалов» впервые ввел М. С. Волков (1805–1875) — профессор курса построений.

Профессор Н. Ф. Ястржембский (1808–1874) — выпускник института — с 1844 по 1848 г. работал профессором механики; им написаны научные работы по расчету на прочность мостов, теории движения машин.

Одним из создателей отечественной школы строительной механики является П. И. Собко (1819–1879). В 1848 г. он был избран первым профессором по строительной механике и с 1850 г. читал строительную механику как самостоятельный предмет. Одной из крупнейших заслуг П. И. Собко перед отечественной наукой и техникой является создание (1854) в институте Механической лаборатории.

Академик Петербургской АН О. И. Сомов (1815–1876), математик и механик, преподавал в институте с 1848 по 1869 г. Занимался вопросами вращения твердого тела вокруг неподвижной точки, теорией колебаний. Он же с 1864 г. возглавлял кафедру аналитической механики.

Выдающийся математик академик В. Я. Буняковский (1804–1889) некоторое время (после 1859 г.) был профессором математики в Институте корпуса инженеров путей сообщения. Научные труды академика касаются теории чисел, теории вероятностей и т. д. Его имя носит неравенство Коши–Буняковского, которое связывает норму и скалярное произведение векторов в евклидовом пространстве.

В 1864 г. данное учебное заведение стало именоваться Петербургским институтом инженеров путей сообщения (ПИИПС). Тогда же в нем была выделена кафедра строительной механи-

ки. В 1850–1870 гг. в институте преподавал профессор Р. Б. Бернгард (1819–1887), специалист по строительной механике и теории сводов, главный архитектор Петербурга.

В период с 1865 по 1905 г. в области строительной механики существенные научные и практические результаты получены профессорами Н. А. Белялюбским (1845–1922), Л. Ф. Николаи (1844–1908), Ф. С. Ясинским (1856–1899), Л. Д. Проскуряковым (1858–1926).

Выпускник института Н. А. Белялюбский — профессор по курсу строительной механики (с 1873 г.) более 50 лет фактически руководил мостостроением России. По его проектам и под его руководством было построено более ста мостов. Курс строительной механики он читал также в Горном институте и на Женевских политехнических курсах. В 1912 г. Н. А. Белялюбский был избран президентом Международного общества испытания материалов.

Л. Ф. Николаи был профессором кафедры мостов, а также директором института в 1901–1905 гг. Его научные работы посвящены вопросам прочности мостовых конструкций, в частности при действии сосредоточенных и подвижных нагрузок.

Ф. С. Ясинский занимался проблемой устойчивости сжатых стержней. В частности, он решил задачу устойчивости стержня с шарнирно опертыми концами в упругой среде, которая получила название задачи Ясинского. Он занимался также определением критических напряжений в стержнях за пределом пропорциональности. Ему же принадлежат исследования по расчету железнодорожного пути, статьи о динамическом воздействии нагрузок на железнодорожные мосты. В 1895 г. Ф. С. Ясинский предложил и начал читать факультативный курс теории упругости.

Классик отечественного мостостроения и строительной механики профессор Л. Д. Проскуряков окончил ПИИПС и преподавал в нем с 1887 по 1896 г. Он является автором уникального железнодорожного моста через Енисей (1896), второго в мире по величине пролета со сквозными балочными фермами. Этот мост, непревзойденный по легкости, получил всеобщее признание на Всемирной Парижской выставке в 1900 г. и был удостоен золотой медали.

Видный русский математик и механик Е. И. Золотарев (1847–1878) — автор многих математических работ — заведовал кафедрой аналитической механики с 1876 по 1878 г.

Профессор Д. К. Бобылев (1842–1917) был специалистом в области электро- и гидродинамики, а также теории упругости; его учениками были известные механики А. М. Ляпунов и И. В. Мещерский. Преподавал в институте физику с 1871 г. В 1878–1910 гг. заведовал кафедрой теоретической (аналитической) механики.

Результаты работы ученых института до 1883 г. публиковались в «Журнале Министерства путей сообщения» и других изданиях («Инженерные записки», «Инженер»). В 1883 г. по инициативе директора института профессора М. Н. Герсеванова институт приступил к изданию сборников института. С 1884 по 1899 г. вышли из печати 52 сборника, в которых было опубликовано 198 научных работ и свыше 30 учебников.

В 1890 г. в курсе теоретической и прикладной механики читались такие важные разделы, как статика, введение в теоретическую механику, кинематика и кинетика, гидростатика, гидродинамика и гидравлика, строительная механика и др. В начале XX в. в число факультативных дисциплин вошла и теория упругости.

В 1911–1913 гг. в ПИИПС преподавал в качестве экстраординарного профессора академик А. Н. Крылов (1863–1945) — выдающийся математик и механик, инженер-кораблестроитель и изобретатель, вклад которого в науку и технику неограничен. Он является автором многих основополагающих трудов по теории корабля. Участник проектирования и постройки первых русских линкоров, основоположник военного и гражданского судостроения в СССР. Имеет также труды по теории магнитных и гироскопических компасов, артиллерии, механике и математике. А. Н. Крылов создал ряд корабельных и артиллерийских приборов. Заведовал кафедрой теоретической механики с 1910 по 1912 г.

Будущий механик и инженер с мировым именем С. П. Тимошенко (1878–1972) окончил ПИИПС. В 1913 г. он по рекомендации А. Н. Крылова вернулся в институт уже в качестве профессора кафедры теоретической механики, которой затем заведовал до 1914 г. Перед Первой мировой вой-

ной С. П. Тимошенко был назначен членом Мостовой комиссии Инженерного совета Министерства путей сообщения. Он выполнил и опубликовал ряд работ по динамике и прочности рельсов. В 1913 г. вышел его первый том курса теории упругости, а в 1915 г. — второй. С. П. Тимошенко работал в институте до декабря 1917 г. Впоследствии он работал в США, где возглавлял кафедру прикладной механики в Инженерной школе Мичиганского университета, а затем Стенфордского университета. С. П. Тимошенко состоял членом Академий наук ряда стран: УССР (1918), СССР (член-корреспондент с 1928 г., позднее иностранный член), Польской академии наук (член-корреспондент с 1935 г.), Парижской академии наук (член-корреспондент с 1939 г.), Американской академии наук (член-корреспондент с 1941 г.), Итальянской академии наук (почетный член с 1948 г.). Его перу принадлежит множество работ по теории упругости, теории пластин и оболочек, теории колебаний и т. д.

Е. Л. Николаи (1880–1950) — сын Л. Ф. Николаи — с 1914 по 1930 г. читал лекции по теоретической механике в ПИИПСе. В 1918 г. он возглавил кафедру теоретической механики (по 1930 г.). Научные статьи Е. Л. Николаи посвящены вопросам устойчивости стержней и теории колебаний. В 1924 г. он принял участие в I международном конгрессе по теоретической и прикладной механике в Делфте (Нидерланды). В 1930 г. Е. Л. Николаи принял участие в работе III конгресса в Стокгольме, где сделал доклад об устойчивости валов. В 1927 г. по его инициативе было учреждено Ленинградское механическое общество, председателем которого он стал. В 1929 г. это общество начало издавать журнал «Вестник механики и прикладной математики», который в 1933 г. был преобразован в журнал «Прикладная математика и механика». Е. Л. Николаи был ответственным редактором этих журналов, а после передачи издания в ведение Института механики Академии наук СССР стал членом его редколлегии.

Известный инженер и специалист по теории прочности профессор Н. М. Беляев (1890–1944) закончил ПИИПС в 1916 г., а в 1919 г. стал в нем преподавать. В 1924 г. Н. М. Беляев был назначен заведующим кафедрой сопротивления материалов и Механической лабораторией института. Одновременно он начал читать также и курс испытания мостов, а в 1927–1930 и 1939–1941 гг. — курс теории упругости. В 1939 г. Н. М. Беляев был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР. Ему принадлежат исследования напряженного состояния соприкасающихся тел, решение задачи устойчивости сжатого стержня переменными по времени силами, решение задачи об упругопластическом состоянии полых толстостенных цилиндров, нагруженных внутренним и внешним давлениями и продольными силами, ряд работ по исследованию механических свойств бетонов, а также прочности различных инженерных сооружений. Н. М. Беляев написал также учебник «Сопротивление материалов» и «Сборник задач по сопротивлению материалов», по которым учились многие поколения инженеров всех технических вузов страны.

После реорганизации Ленинградского института инженеров путей сообщения (ЛИИПС) и создания в 1930 г. на базе водного факультета Ленинградского института инженеров водного транспорта (ЛИИВТ, позже ЛИВТ), наряду с другими кафедрами и лабораториями были образованы кафедры теоретической механики, сопротивления материалов, статистики конструкций, высшей математики.

Профессор Н. М. Беляев создавал в ЛИИВТе кафедру сопротивления материалов, которую затем (в 1931–1932 гг.) возглавил профессор В. П. Формаковский, автор работ по расчету клепаных балок. Профессор В. П. Петров (1884–1955) занимался расчетами на прочность резервуаров и котлов больших диаметров; заведовал кафедрой с 1934 по 1947 г. При нем была создана Механическая лаборатория кафедры. Профессор, д-р техн. наук Н. И. Григорьев занимался вероятностными расчетами кранов и оценкой усталостной прочности металлоконструкций; заведовал кафедрой в 1969–1970 гг.

Профессор, д-р техн. наук М. Я. Дьяков (1898–1980), автор работ по методам расчета статически неопределимых конструкций, в 1972–1975 гг. заведовал кафедрой сопротивления материалов и строительной механики. Профессор, д-р техн. наук Л. Я. Григорьев (1927–2002), автор ряда работ по расчету на прочность элементов судовых энергетических установок, заведовал этой кафедрой

в период с 1975 по 1992 г. Профессор, д-р техн. наук В. Б. Чистов, специалист в области конструктивных и технологических методов обеспечения прочности корпуса судна, с 1993 г. возглавляет кафедру, которая с 2008 г. носит название кафедра сопротивления материалов и механики.

Профессор Е. К. Митропольский (1888–1948) заведовал кафедрой теоретической механики в период ее становления (1930–1941), а также в 1945–1947 гг. Профессор, д-р техн. наук А. М. Годыцкий-Цвирко (1884–1951) занимался изучением взаимодействия железнодорожного пути и подвижного состава, а также являлся участником проекта однорельсового пути и гироскопического поезда. Заведовал кафедрой теоретической механики в 1944–1945 гг.

Профессор, д-р техн. наук А. А. Яблонский (1903–1995) — автор учебника по теоретической механике и научных работ по теории колебаний — заведовал этой кафедрой в 1947–1960 гг. Профессор, д-р физ.-мат. наук Д. Р. Меркин (р. в 1912 г.) издал в 1970 г. (в соавт. с Н. В. Бутениным и Я. Л. Лунцем) «Курс теоретической механики», который затем много раз переиздавался. Д. Р. Меркин написал также широко известные монографии «Гироскопические системы», «Введение в теорию устойчивости движения». Возглавлял кафедру теоретической механики с 1960 по 1979 г.

Профессор, д-р техн. наук М. Ф. Клочанов (1883–1954), специалист в области расчетов статически неопределимых конструкций (мосты, гидротехнические сооружения), в 1923–1951 гг. заведовал кафедрой теории сооружений и инженерных конструкций, а также кафедрой статики металлических и деревянных конструкций.

Профессор Д. Я. Акимов-Перетц (1876–1936) являлся участником проектирования и строительства разводного Екатеринбургского моста (построен в 1914 г.), автором научных работ по расчетам арок, рамных систем и неразрезных балок, с 1930 г. заведовал кафедрой статики железобетонных конструкций.

Профессор С. О. Барышников — ректор СПГУВК и заведующий кафедрой основ инженерного проектирования — является специалистом в области технологии ремонта корпусов судов, а также в области теории устойчивости и колебаний элементов судовых конструкций. В частности, С. О. Барышников является одним из авторов (в соавт. с В. Б. Чистовым и Т. О. Лопаревой) идеи поперечного разреза корпуса ремонтируемого судна на стапеле для устранения остаточного перегиба в процессе длительной эксплуатации судна. Идея обоснована необходимыми расчетами на прочность как стапельных конструкций, так и частей корпуса в процессе ремонта. Им написаны две научные монографии.

Научные направления прикладной математики и механики в СПГУВК развиваются и учеными математических кафедр университета.

Выдающийся математик академик В. И. Смирнов (1887–1974) создал в ЛИИВТе кафедру высшей математики, которой заведовал в 1930–1931 гг. Его основные научные труды посвящены теории функции комплексного переменного, униформизации многозначных аналитических функций, исследованию полноты системы многочленов, теории распространения волн в упругих средах с плоскими границами и т. д. В. И. Смирнов является автором наиболее известного и популярного в нашей стране пятитомного курса высшей математики.

Д-р физ.-мат. наук, профессор Г. И. Джанелидзе (1916–1964) руководил кафедрой высшей математики в 1951–1955 гг. Им написаны труды по общей механике, математике, физике, теории упругости и пластичности, теории естественно закрученных стержней и т. д., в частности монографии «Статика тонкостенных упругих стержней» (в соавт. с Я. Г. Пановко), «Вибрационные перемещения» (в соавт. с И. И. Блехманом). В последней работе обосновывается возможность транспортировки сыпучих сред посредством возбуждения поперечных колебаний частиц среды. Вместе с М. И. Батем и А. С. Кельзоном он написал учебное пособие «Теоретическая механика в примерах и задачах», которое выдержало много изданий.

Научные труды д-р физ.-мат. наук, профессора Л. Н. Слободецкого (1914–1976) относятся к теории функции комплексной переменной и теории дифференциальных уравнений в частных производных. Его именем в математике названы так называемые пространства класса Соболева–Слободецкого. Он заведовал кафедрой высшей математики в 1959–1974 гг.

Д-р физ.-мат. наук, профессор П. Г. Голоскоков (1924–1999) в 1969–1973 гг. заведовал кафедрой вычислительной техники и математических методов исследования операций, а в 1974–1990 гг. — кафедрой высшей математики. Его докторская диссертация посвящена решению краевых задач теории тонких плит при помощи полиномов специального вида. Особо значимые работы П. Г. Голоскокова в области механики опубликованы в академических журналах «Известия АН СССР» (1962, 1964), «Прикладная механика» (1967).

Профессор кафедры математики, д-р техн. наук М. В. Сухотерин занимается вопросами изгиба пластин и плит (гладких и ребристых) с защемленно-свободными краями как элементов судовых, гидротехнических и авиационных конструкций. Им написана в 2009 г. монография «Метод суперпозиции исправляющих функций в задачах теории пластин». Результаты научных исследований опубликованы также в ведущих отечественных и зарубежных журналах в области механики и математического моделирования.

Д. П. Голоскоков, д-р техн. наук, профессор, с 2004 г. заведует кафедрой прикладной математики, специалист в области механики деформируемого твердого тела, математического моделирования, численных методов решения краевых задач математической физики. Им (в соавт. с П. Г. Голоскоковым) написана монография «Метод полиномов в задачах теории тонких плит», вышедшая в 2008 г. Перу Д. П. Голоскокова и А. А. Грищенко принадлежит книга «Математическое моделирование упругих тонких систем» (1999). В 2006 г. вышла монография Д. П. Голоскокова «Численно-аналитические методы расчета упругих тонкостенных конструкций нерегулярной структуры». Указанные работы посвящены построению и применению ортогональных многочленов для решения задач изгиба гладких и ребристых пластин и пологих оболочек, определению деформаций и напряжений в ребрах жесткости как элементах обшивки судов и затворов гидросооружений. Представлены математические модели надежного приближенного расчета таких конструкций с применением вариационных методов Канторовича и Бубнова–Галеркина. Монография «Избранные задачи механики деформируемого твердого тела» (2009) посвящена задачам устойчивости цилиндрических оболочек с учетом нелинейности докритического состояния. В ней построена общая нелинейная теория упругих стержней.

Помимо указанных выше монографий, Д. П. Голоскоковым написан учебник по уравнениям математической физики, который используется в учебном процессе кафедры, а также в СПбГУ на факультете ПМ-ПУ. Под грифом УМО вышел его «Практический курс математической физики в системе Maple». Им подготовлены несколько кандидатов и один доктор технических наук. Д. П. Голоскоков возглавляет диссертационный совет по трем специальностям.

Кафедра прикладной математики в настоящее время готовит специалистов широкой направленности, в том числе и в области расчетов на прочность судовых и гидротехнических конструкций. Под редакцией Д. П. Голоскокова и А. Р. Шкадовой кафедра с 2008 г. издает ежегодный межвузовский сборник научных трудов «Математика и ее приложения».

Научными исследованиями в области прикладной математики и механики занимаются также кандидаты наук В. К. Лашенов, А. В. Коптев, Н. М. Гулевич, В. О. Кузнецов (кафедра математики), Г. В. Титова, А. В. Васин, А. Р. Шкадова, аспиранты В. А. Данилюк и К. О. Ломтева (кафедра прикладной математики).

В настоящее время вопросы прочности, надежности и долговечности судовых и гидротехнических конструкций по-прежнему актуальны, особенно ввиду применения новых материалов, развития инновационных технологий, а также из-за возможных техногенных катастроф. Ученые математики и механики СПГУВК стремятся решать эти новые задачи.

Список литературы

1. Большая энциклопедия транспорта: в 8 т. — СПб.: Элмор, 2000. — Т. 5: Морской транспорт. — 380 с.; — СПб.: Элмор, 1998. — Т. 6: Речной транспорт. — 312 с.

2. *Гапеев А. М.* 200 лет подготовки инженеров в области гидротехнического строительства водных путей и портов: сб. материалов / А. М. Гапеев, В. В. Кононов, К. П. Моргунов. — СПб.: СПГУВК, 2009. — 224 с.
3. История Института инженеров путей сообщения за первое столетие его существования (1810–1910) / сост. А. М. Ларионов. — СПб.: ИИПС, 1910. — 326 с.
4. Ленинградский институт инженеров водного транспорта (1930–1955). — Л.: ЛИВТ, 1956. — 228 с.
5. Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта (1809–1959). — М.: Трансжелдориздат, 1960. — 388 с.
6. *Ляхницкий В. Е.* 130 лет высшей технической школы водного транспорта / В. Е. Ляхницкий. — М.: Водный транспорт, 1939. — 34 с.
7. Морской энциклопедический справочник / под ред. Н. Н. Исанина. — Л.: Судостроение, 1986. — Т. 1. — 512 с.; — Т. 2. — 520 с.
8. Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций. К 200-летию государственной подготовки специалистов для водного транспорта (1809–2009) / под общ. ред. Е. Н. Климова. — СПб.: СПГУВК, 2009. — 444 с.
9. Советский энциклопедический словарь. — М.: Сов. энциклопедия, 1984. — 1600 с.

Научное издание

Журнал университета водных коммуникаций
Выпуск 2 (14)

2012 год

Материалы публикуются в авторской редакции
Выпускающий редактор *Е. А. Монахова*
Дизайнер *С. В. Курбатов*
Технический редактор *М. Н. Евсюткина*
Набор *Ю. А. Курицына*
Корректор *О. В. Миняева*

Подписано в печать с оригинал-макета 26.06.12. Формат 60x90/8
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 28,71. Тираж 500 экз. Заказ № 97
Отпечатано в типографии ФГОУ ВПО СПГУВК
198035, Санкт-Петербург, Межевой канал, 2