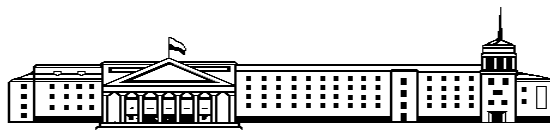


ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ВОДНЫХ КОММУНИКАЦИЙ»



ЖУРНАЛ УНИВЕРСИТЕТА ВОДНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Выпуск 3 (15)

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)

Журнал университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2012. — 224 с. (Вып. 3).

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.
-

СОДЕРЖАНИЕ

ВОДНЫЕ ПУТИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И ПОРТЫ 6

- Кузьмицкий М. Л., Ксенофонов Н. М.* Оптимизация выбора методов неразрушающего контроля для обнаружения усталостных повреждений элементов механического оборудования 6
- Матросов А. В.* Численно-аналитическое моделирование балки с трещиной 13
- Селезнева Н. В.* Анализ причин формирования летних дождевых паводков в речных бассейнах горных рек 22
- Гладков Г. Л., Беляков П. В., Орлов С. С.* Обеспечение судоходных условий на Нижнем Немане 31
- Васин А. В.* Математическое моделирование опыта Н. Б. Городенского о вихревых течениях в шлюзовых камерах 42

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА 48

- Изак Г. Д., Поляков А. А.* Исследование шума и вибрации в помещениях пассажирского теплохода 48
- Боран-Кешишьян А. Л., Кондратьев С. И.* Исследование наработки до отказа тренажерно-обучающей системы 55
- Самойленко А. Ю.* Частотная модель индикаторной диаграммы судового двухтактного дизеля 59
- Романченко М. К.* Способы вибрационной защиты на судах 64
- Приходько В. М., Ивлев М. Л., Приходько И. В.* Эффективность компенсатора реактивной мощности дискретного типа 68
- Крылов Д. А., Цветков Ю. Н.* Влияние добавок ультрадисперсного порошка оловянистой бронзы в моторное масло на работу дизеля 75

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ 87

- Даниловский А. Г., Иванченко А. А., Мьо Чжо Ту.* Анализ методов повышения эффективности судовой вспомогательной котельной установки 87
- Барышников С. О., Сухотерин М. В.* Вычисление частот и форм собственных колебаний панелей обшивки судна 94
- Лазарев А. Н., Марченко С. С.* Перспективы развития судостроительных кластеров в России 104

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 107

- Тузов Л. В., Райтузов С. В., Шадрин А. Б.* Элементы виртуализации сервисов в процессах автоматизации и контроля на транспорте 107
- Костикова Е. В.* Математическое моделирование и оценка параметров видеоинформационной системы наблюдения на транспорте 113
- Чертовской В. Д.* Решение задачи динамического программирования при планировании на судостроительном предприятии 119
- Соколов С. С., Беляева Н. А.* Функциональная структура автоматизированной системы управления транспортно-складской инфраструктурой 124
- Зубарев Ю. Я., Горячев А. А.* Вероятностная оценка качества процессов судовых автоматизированных систем с учетом разброса параметров отдельных элементов 129
- Журавлев А. Е.* Организация диалога с информационной системой оперативного учета судопропуска в шлюзах 133

Барцевский Г. Е. Использование метода случайного баланса в задачах отсеивающего эксперимента для судовых автоматизированных систем 140

Нырков А. П., Рудакова С. А. Методика аудита объектов информатизации по требованиям информационной безопасности 146

СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ 150

Гаврилов В. В., Семионичев Д. С. Определение приемлемости риска при формализованной оценке безопасности судовых энергетических установок 150

Журавлев В. М., Рудых С. В. Исследование зависимости оптимального радиуса зоны действия цифровой транкинговой станции от основных параметров радиоканала в условиях взаимных помех 154

Зуев В. Ф., Соляков О. В. Основные аспекты повышения точности местоопределения судов на сложных участках внутренних водных путей 160

Дмитриев В. И., Козик С. В. Психологические аспекты подготовки плавсостава 165

Андреев Ю. Г. Способ выбора допустимой скорости прохода судов под мостами 171

Анисимов А. Н. Пропульсивный комплекс судна в условиях ледового плавания 175

ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 185

Гредасова И. Б. Анализ требований безопасности при утилизации судов 185

Костюничев Д. Н., Кузьменко С. Н. Оценка негативного воздействия открытых складов сыпучих грузов на окружающую среду 189

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ 196

Алексеева Е. С. Сравнительный анализ современного состояния и развития различных форм судоходства 196

Коробкова М. Н. Формирование качества портовых услуг 200

Яковлева Э. В. Особенности формирования затрат в плавучих гостиничных комплексах 208

Панамарева О. Н. Исследование процесса управления территориально-экономическими объектами морского транспорта 212

Бубнова М. Е. Совершенствование методологии организации внутреннего контроля на предприятиях водного транспорта 218

ВОДНЫЕ ПУТИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И ПОРТЫ

УДК 658.58

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

Н. М. Ксенофонтов,
инженер-исследователь,
СПГУВК

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

OPTIMIZATION OF THE CHOICE OF THE METHODS OF NONDESTRUCTIVE TESTING FOR THE DETECTION OF FATIGUE DAMAGE OF ELEMENTS OF MECHANICAL EQUIPMENT

В статье рассмотрена возможность оптимизации выбора методов неразрушающего контроля для обнаружения усталостных повреждений элементов механического оборудования, находящегося в эксплуатации, с учетом свойств усталостных повреждений и реальных условий проведения контроля.

In this article the possibility of optimizing the choice of methods of non-destructive control for detection of fatigue damages of elements of mechanical equipment is in operation, taking into consideration the properties of the fatigue damage and the real conditions of carrying out the control.

Ключевые слова: эксплуатация, механизм, циклическое нагружение, усталостные трещины, неразрушающий контроль, чувствительность, влияющие факторы, выявляемость.

Key words: operation, mechanism, cyclic loading, fatigue cracks, non-destructive testing, sensitivity, influencing factors, detectability.

В НАСТОЯЩЕЕ время используется значительное количество механического оборудования (далее — МО) длительного пользования, различного по назначению, конструктивному и технологическому исполнению, но имеющего ряд общих показателей:

- длительный срок эксплуатации;
- индивидуальный или мелкосерийный характер изготовления элементов;
- малую степень отработки конструкций из-за небольшого числа эксплуатируемых аналогичных изделий и ограниченной возможности проведения полномасштабных испытаний;
- неучтенные при проектировании воздействия, число которых возрастает со временем эксплуатации;
- многочисленные восстанавливающие воздействия, выполняемые по различным технологиям;
- большие габариты и стоимость изделий и их элементов;
- возможность эксплуатации аналогичных изделий в различных условиях [1].

Указанное оборудование является, например, составной частью гидротехнических сооружений, судов различного назначения, энергетических комплексов, технологического оборудования многих отраслей промышленности и т. д.

Из-за широкого диапазона скоростей процессов старения элементов такого оборудования (коррозионное изнашивание, изнашивание трением, накопление механических повреждений и деформаций, усталостное и коррозионно-усталостное разрушение) его технический уровень поддерживается по системе обслуживания и ремонта по фактическому состоянию, тенденция к переходу на которую наметилась и для более типовых изделий. Составной частью таких систем является техническая диагностика, которая, в частности, решает задачу своевременного выявления эксплуатационных дефектов до достижения ими опасных показателей.

Элементы таких механических систем подвергаются расчетным и нерасчетным динамическим нагрузкам, которые имеют циклический характер, что предопределяет возможность образования усталостных повреждений на отдельных участках деталей.

Возникновению и развитию их способствуют:

- пониженный уровень циклической прочности материала;
- наличие конструктивных и технологических концентраторов напряжений;
- воздействие циклических нагрузок, вызывающих напряжения, близкие к пределу усталости;
- наличие поверхностных механических повреждений;
- высокая и неравномерная шероховатость поверхности.

Процесс развития усталостных повреждений является длительным, в отличие от процессов образования технологических дефектов и других повреждений, появление которых связано с действием напряжений, превышающих предел прочности материала [1].

Усталостные трещины, как правило, образуются на поверхности, а также в зоне действия конструктивных или технологических концентраторов напряжений.

Основными параметрами дефектов типа трещины являются раскрытие a (ширина), глубина h и протяженность l (длина), определяющие, с одной стороны, опасность разрушения детали и, с другой — вероятность их выявления различными методами (рис. 1).

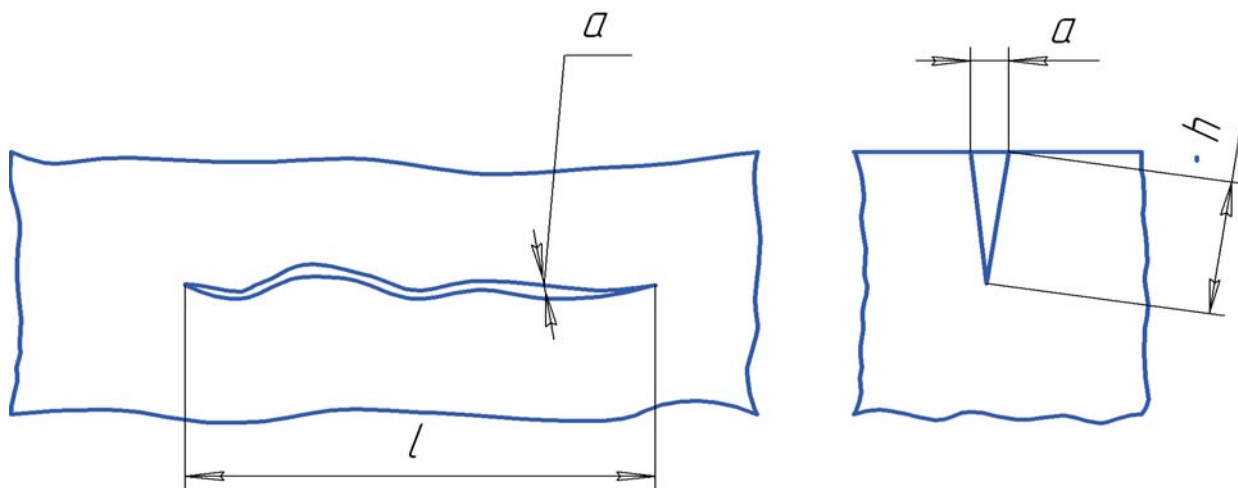


Рис. 1. Схематичное изображение трещины
(l — протяженность (длина), a — раскрытие (ширина), h — глубина)

Выполненные исследования усталостных трещин [1; 2, с. 44–47; 3] позволили установить их некоторые специфические отличия.

Полости усталостных трещин во многих случаях заполнены продуктами истирания и коррозии стенок, а также смазочными материалами [3].

При наличии коррозионно-активной среды в устье усталостных трещин, образовавшихся в угловых переходах, во многих случаях наблюдаются коррозионные повреждения, размер которых значительно превышает коррозионные повреждения на цилиндрической поверхности (рис. 2).

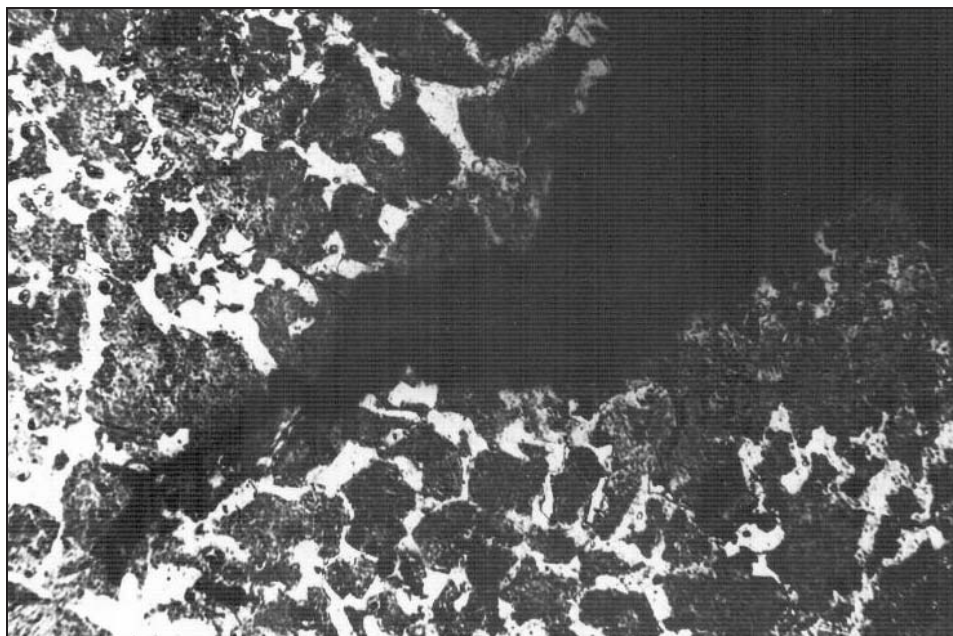
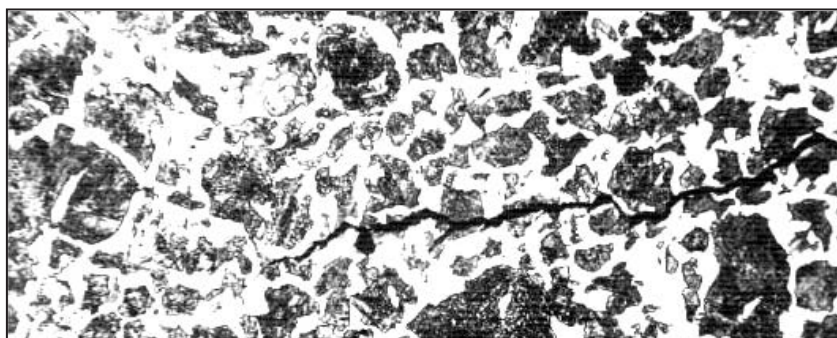


Рис. 2. Коррозионная раковина,
ставшая очагом образования усталостной трещины

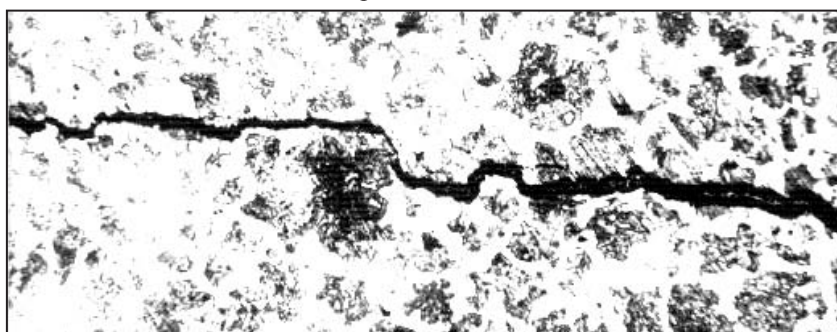
По глубине усталостные трещины имеют извилистый характер (рис. 3), что может быть вызвано:

- выборочным развитием по наименее прочным участкам материала детали;
- изменением условий внешнего нагружения;
- перераспределением напряжений, обусловленных развитием трещины;
- влиянием соседних близко расположенных трещин, дефектов материала, полей остаточных напряжений [4].

Вершина



Средняя часть



Устье

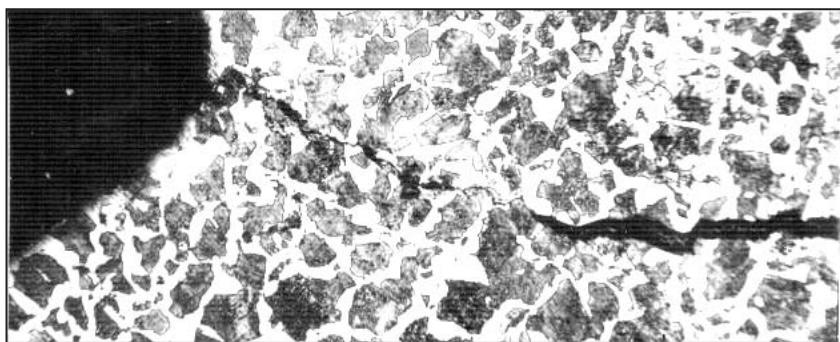


Рис. 3. Распространение усталостной трещины по материалу детали

Усталостные трещины имеют переменное сечение (рис. 3), а также малое раскрытие по сравнению с технологическими трещинами.

Выявить усталостные повреждения на относительно раннем этапе их развития позволяют методы неразрушающего контроля, такие как ультразвуковой контроль (УЗК), магнитопорошковая дефектоскопия (МПД) — для ферромагнитных материалов, вихретоковый контроль (ВТ) и капиллярные методы контроля, далее будет рассматриваться цветная дефектоскопия (ЦД).

При эксплуатационном контроле МО возникает проблема оптимального выбора того или иного метода контроля или их комбинации, так как в нормативно-технической документации, как правило, отсутствует четкая его регламентация. Фактическая эффективность неразрушающих методов контроля (чувствительность и вероятность выявления дефектов) значительно отличается от указанных в нормативной документации [5–7], в зависимости от характеристик дефектов и условий проведения контроля.

Рациональный выбор методов для выявления усталостных трещин может быть сделан только с учетом основных параметров реальных дефектов, их расположения и условий проведения контроля, влияние которых на чувствительность и вероятность оценивается совокупностью коэффициентов K_i , учитывающих:

- заполнение полости дефекта (K_{Π});
- коррозионное разрушение полости устья трещины (K_K);
- форму стенки трещины (K_{Π});
- переменное сечение трещины (K_C);
- величину размеров трещины (раскрытие, протяженность) (K_p);
- ориентацию трещины (K_O);
- геометрию контролируемого участка (K_{Φ});
- нестабильность электрических (K_{σ}) и магнитных (K_{μ}) свойств металла контролируемой детали;
- повышенную шероховатость контролируемой поверхности (K_R);
- структурную неоднородность материала (K_H);
- условия проведения контроля (K_T).

Значения указанных коэффициентов K_i могут изменяться от 1 (высокая вероятность выявления дефекта с чувствительностью, указанной в [5–8]) до 0 (возможность допуска дефектов размерами, даже значительно превышающими приведенные в [5–8]).

При ультразвуковом контроле чувствительность и вероятность выявления дефектов зависит:

- от формы стенки трещины ($K_{\Pi} < 1$) и ее ориентации ($K_O < 1$), которые приводят к изменению отражательной способности дефекта;
- геометрии контролируемого участка — из-за появления дополнительных отражателей акустического сигнала ($K_{\Phi} < 1$);

— шероховатости контролируемой поверхности — из-за изменения условий ввода ультразвуковых колебаний ($K_R < 1$);

— наличия локальных участков химической и структурной неоднородности, имеющих другие акустические свойства ($K_H < 1$).

При УЗК значения коэффициентов K_{Π} , K_C , $K\sigma \rightarrow 1$.

На чувствительность и вероятность выявления дефектов магнитопорошковым контролем влияет:

— коррозионное разрушение полости устья трещины — из-за осаждения магнитного порошка в коррозионной раковине независимо от наличия трещины ($K_K < 1$);

— ориентация трещины, так как наилучшее ее выявление обеспечивается в случае, когда магнитные силовые линии в намагниченной детали направлены под прямым (или близким к нему) углом к плоскости трещины ($K_O < 1$);

— геометрия контролируемого участка — из-за возможного образования полей рассеивания на участках изменения формы детали независимо от наличия трещины ($K_\Phi < 1$);

— нестабильность магнитных свойств, изменяющая распространение магнитных силовых линий ($K_\mu < 1$);

— повышенная шероховатость, при которой образуются множественные локальные поля рассеивания в корневой части выступов, а также ухудшаются условия стекания магнитной суспензии ($K_R < 1$).

Значения коэффициентов K_{Π} , K_{Π} , K_C и $K\sigma$ при использовании МПД $\rightarrow 1$.

Для капиллярных методов контроля следует учитывать:

— наличие предварительного заполнения полости и коррозионного разрушения полости устья трещины, которые влияют на проникновение пенетранта в полость дефекта ($K_{\Pi} < 1$) и на качество капиллярного контакта проявляющего состава с устьем трещины ($K_K < 1$);

— переменное сечение трещины, затрудняющее заполнение ее полости пенетрантом ($K_C < 1$);

— геометрию контролируемого участка, в результате чего изменяются условия удаления проникающего пенетранта ($K_\Phi < 1$);

— шероховатость поверхности, определяющую условия удаления проникающего пенетранта с контролируемой поверхности ($K_R < 1$).

Значения коэффициентов K_O , K_M , $K\sigma$ при использовании ЦД $\rightarrow 1$.

У вихретокового метода чувствительность и вероятность выявления дефектов зависят:

— от коррозионного разрушения полости устья трещины — из-за отличия геометрии локального контролируемого участка от геометрии участка, по которому производилась настройка прибора ($K_K < 1$);

— нестабильности электрических свойств отдельных участков детали, влияющей на величину вихревых токов ($K\sigma < 1$);

— нестабильности магнитных свойств, вызывающих изменение распространения вихревых токов ($K_\mu < 1$);

— повышенной шероховатости, по причине вынужденного уменьшения настройки порога чувствительности прибора ($K_R < 1$).

Значения коэффициентов K_{Π} , K_{Π} , K_C , K_O и K_Φ при использовании ВТ $\rightarrow 1$.

Вероятность выявления трещины для перечисленных методов также зависит от ее размеров (раскрытие, протяженность, для УЗК — минимальный размер отражателя) ($K_p < 1$), ограниченной предельной чувствительности методов неразрушающего контроля. При эксплуатационном контроле достижение предельной чувствительности всех методов неразрушающего контроля, как правило, маловероятно ($K_p < 1$) из-за условий его проведения (совершенство технологий, реальные возможности используемого оборудования, доступность контролируемого участка, квалификация персонала, освещенность и т. д.) ($K_T < 1$).

Исследования количественного влияния отдельных факторов на эффективность выявления

усталостных трещин представлены в работе [2]. Однако они не позволяют без дополнительных исследований дать количественную оценку фактической чувствительности и вероятности выявления дефектов при использовании рассматриваемых методов контроля.

Однако приведенный анализ зависимости K_i для различных методов контроля, результаты выполненных исследований [1–3] и многолетний опыт эксплуатационного контроля позволяют произвести качественную оценку эффективности методов контроля в зависимости от K_i (табл. 1), что дает возможность повысить уровень оптимизации выбора методов контроля в реальных условиях.

Таблица 1

**Влияние свойств усталостной трещины и состояния контролируемого участка
на ее выявление методами неразрушающего контроля**

№ п/п	Рассматриваемые параметры	Методы контроля			
		УЗК	МПД	ЦД	ВТ
1	2	3	4	5	6
Свойства усталостной трещины					
1	Заполнение полости трещины K_{Π}				
2	Коррозионное разрушение полости устья трещины K_{κ}				
3	Форма стенки трещины $K_{\text{и}}$				
4	Переменное сечение трещины $K_{\text{с}}$				
5	Величина размеров трещины $K_{\text{р}}$				
6	Ориентация трещины $K_{\text{о}}$				
Состояние контролируемого участка					
7	Геометрия контролируемого участка $K_{\text{ф}}$				
8	Нестабильность электрических свойств K_{σ}				
9	Нестабильность магнитных свойств K_{μ}				
10	Повышенная или различная шероховатость $K_{\text{р}}$				
11	Химическая и структурная неоднородность $K_{\text{н}}$				

Примечание:

 — $K_i \rightarrow 1$

 — $0 \leq K_i \leq 1$

 — $K_i \rightarrow 0$

С учетом информации, представленной в табл. 1, при выборе методов неразрушающего контроля с учетом свойств вероятных дефектов, их размеров, ориентации и состояния контролируемой поверхности должны исключаться те из них, у которых среди совокупности коэффициентов имеются $K_i \rightarrow 0$.

В общем случае вероятность выявления усталостных трещин определяется как произведение коэффициентов

$$P = K_{\Pi} \cdot K_K \cdot K_{\Pi} \cdot K_C \cdot K_P \cdot K_O \cdot K_{\Phi} \cdot K_{\sigma} \cdot K_{\mu} \cdot K_R \cdot K_D \cdot K_T$$

Оптимальным методом является тот, для которого в конкретных условиях получены наибольшие значения P при достаточной чувствительности. Для повышения надежности выявления дефектов рекомендуется дублирование контроля несколькими методами.

Выводы

1. Выполненные исследования [1–3] показали, что выявляемость усталостных трещин методами неразрушающего контроля зависит не столько от предельной чувствительности самих методов, сколько от параметров дефектов и условий проведения контроля.
2. С учетом особенностей усталостных трещин и условий эксплуатационного контроля разработаны рекомендации по оптимизации выбора методов контроля для их выявления.
3. Для выполнения количественной оценки эффективности выявления усталостных трещин методами неразрушающего контроля требуются дополнительные исследования.

Список литературы

1. Кузьмицкий М. Л. Оценка и прогнозирование технического состояния элементов судовых гидротехнических сооружений при эксплуатации: автореф. / М. Л. Кузьмицкий. — СПб., 1999.
2. Кузьмицкий М. Л. Влияние коррозионного повреждения контролируемой поверхности на выявляемость усталостных трещин / М. Л. Кузьмицкий // Судоремонт флота рыбной промышленности: сб. — Л.: Транспорт, 1974. — Вып. 25.
3. Кузьмицкий М. Л. Исследования усталостных повреждений деталей / М. Л. Кузьмицкий, Э. Ф. Хомич. // Сб. трудов молодых научных работников. — Л.: ЛИВТ, 1974. — 100 с.
4. Фридман Я. Б. Строение и анализ изломов металлов / Я. Б. Фридман, Т. А. Гордеева, А. М. Зайцев. — М., 1960. — 91 с.
5. ГОСТ 21105-87 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод.
6. ГОСТ 18442-80 Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования.
7. РД-13-03-2006 Методические рекомендации о порядке проведения вихрекового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах.

ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЛКИ С ТРЕЩИНОЙ

NUMERICALLY-ANALITICAL MODELLING OF A BEAM WITH A CRACK

Представлен алгоритм численно-аналитического метода расчета упругих систем, работающих в условиях плоской задачи теории упругости, основанный на декомпозиции системы на прямоугольные области и построении для каждой из них общего решения на основе метода начальных функций с последующей их «склежкой» по линиям контакта с использованием условий взаимодействия областей между собой для построения системы линейных уравнений определения неизвестных коэффициентов в решениях. Трещину в конструкции предлагается моделировать двумя прямоугольниками, два смежных ребра которых не взаимодействуют между собой, образуя берега трещины. Приведены результаты расчета балки с вертикальной трещиной, расположенной в нижней ее части.

An algorithm for building a numerical-analytical solution for the problem of deformation of linearly-elastic systems on basis of their decomposition on a set of simple rectangular elements and using a general solution for a rectangular area based on a method of initial functions is presented. A crack in a construction is simulated as two rectangles two adjacent edges of which don't interact forming two crack edges. Results of an analysis of a beam with a vertical crack in its bottom are presented.

Ключевые слова: краевая задача, плоская задача теории упругости, метод начальных функций, линейно-упругие системы, трещина.

Key words: boundary problem, plane elastic problem, method of initial functions, linearly elastic systems, crack.

1. Введение. В [1, с. 55–56; 2, с. 70–84] разработан численно-аналитический метод расчета упругих систем в условиях плоской задачи теории упругости. Суть его заключается в том, что сначала выполняется декомпозиция конструкции на прямоугольные области и для каждой из них строится общее решение в виде тригонометрического ряда с неизвестными коэффициентами, для определения которых используются граничные условия конструкции и условия сопряжения прямоугольных областей между собой. Этот подход можно использовать для моделирования вертикальных или горизонтальных трещин в упругих телах. Если два смежных ребра соседних прямоугольных областей не взаимодействуют между собой, оставаясь «самостоятельными» в своей работе, то они моделируют два берега трещины в случае ее раскрытия или растяжения в направлении, перпендикулярном ее берегам. Работоспособность такого подхода показана на примере растяжения прямоугольной области с трещиной и изгиба балки с трещиной в нижней части.

2. Алгоритм расчета. В [2, с. 70–84] предложен алгоритм расчета тел с составленным из прямоугольных областей сечением сложной конфигурации, находящихся в условиях плоской задачи теории упругости. Любая из четырех граней каждой прямоугольной области может либо принадлежать границе сечения всего тела, либо соприкасаться с гранью другой прямоугольной области, полностью с ней совпадая.

На гранях, принадлежащих границе сечения всего тела, граничные условия соответствуют граничным условиям исходного тела в этой области. На гранях, соприкасающихся с гранями других прямоугольных областей, граничные условия могут обеспечивать непрерывность перемещений и напряжений при переходе из одной области в другую через общую грань, а могут рассчитываться и из других условий сопряжения соприкасающихся граней, например обеспечивая скольжение областей по грани с трением или без.

В работе [1, с. 55–56] разработан и реализован алгоритм построения общего решения в виде тригонометрических рядов для граничной задачи анизотропного линейно-упругого прямоугольного в сечении тела с размерами $(0, h) \times (0, a)$ вдоль координат x и y соответственно, находящегося в условиях плоской деформации или обобщенного плоского напряженного состояния. Общее решение строится на основе метода суперпозиции [3], предложенного Г. Ламе еще в 1851 г. Суть его заключается в том, что если имеются два решения, обладающие функциональным произволом для удовлетворения граничным условиям на альтернативных противоположных гранях прямоугольника, то сумма таких решений будет представлять общее решение для всей прямоугольной области.

В качестве указанных решений в [1] используются два решения, построенные методом начальных функций (МНФ). В первом начальные функции задаются на линии $x = 0$, а во втором — на линии $y = 0$, причем представляются они тригонометрическими рядами.

Обозначим через $\bar{U}_0 = \{\bar{u}^0(y), \bar{v}^0(y), \bar{\sigma}_x^0(y), \bar{\tau}_{xy}^0(y)\}$ и $\bar{\bar{U}}_0 = \{\bar{\bar{u}}^0(x), \bar{\bar{v}}^0(x), \bar{\bar{\sigma}}_y^0(x), \bar{\bar{\tau}}_{xy}^0(x)\}$ векторы начальных функций, заданных соответственно на линиях $x = 0$ и $y = 0$. Векторы перемещений и напряжений $\bar{U} = \{\bar{u}(x, y), \bar{v}(x, y), \bar{\sigma}_x(x, y), \bar{\sigma}_y(x, y), \bar{\tau}_{xy}(x, y)\}$ и $\bar{\bar{U}} = \{\bar{\bar{u}}(x, y), \bar{\bar{v}}(x, y), \bar{\bar{\sigma}}_x(x, y), \bar{\bar{\sigma}}_y(x, y), \bar{\bar{\tau}}_{xy}(x, y)\}$ в соответствии с решением МНФ выражаются через векторы начальных функций следующим образом:

$$\begin{aligned}\bar{U} &= \bar{L} \bar{U}^0, \\ \bar{\bar{U}} &= \bar{\bar{L}} \bar{\bar{U}}^0,\end{aligned}\quad (1)$$

где $\bar{L} = [\bar{L}_{ij}]$ и $\bar{\bar{L}} = [\bar{\bar{L}}_{ij}]$ ($i = 1, \dots, 5, j = 1, \dots, 4$) — матрицы операторов МНФ с элементами вида $\bar{L}_{ij} = \sum_{k=0}^{\infty} \bar{l}_{ij}^k (A_{qr}, \partial_y) \cdot x^k$ и $\bar{\bar{L}}_{ij} = \sum_{k=0}^{\infty} \bar{\bar{l}}_{ij}^k (A_{qr}, \partial_x) \cdot y^k$, в которых коэффициенты $\bar{l}_{ij}^k$ и $\bar{\bar{l}}_{ij}^k$ зависят от упругих постоянных A_{qr} анизотропного тела и соответственно операторов дифференцирования ∂_y по переменной y и ∂_x по переменной x .

Начальные функции выберем в виде тригонометрических рядов:

$$\begin{aligned}\bar{U}_0 &= \sum_{m=0}^{\infty} \bar{U}_0^{(m)}, \\ \bar{\bar{U}}_0 &= \sum_{n=0}^{\infty} \bar{\bar{U}}_0^{(n)},\end{aligned}\quad (2)$$

в которых $\bar{U}_0^{(m)} = \{a_1^{(m)} s_m^a, a_2^{(m)} c_m^a, a_3^{(m)} s_m^a, a_4^{(m)} c_m^a\}$ и $\bar{\bar{U}}_0^{(n)} = \{b_1^{(n)} c_n^h, b_2^{(n)} s_n^h, b_3^{(n)} s_n^h, b_4^{(n)} c_n^h\}$, $a_i^{(m)}$ и $b_i^{(n)}$ ($i = 1, \dots, 4$) — произвольные числовые коэффициенты, $s_m^a = \sin(\alpha_m y)$, $c_m^a = \cos(\alpha_m y)$, $s_n^h = \sin(\beta_n x)$, $c_n^h = \cos(\beta_n x)$, $\alpha_m = m\pi/a$, $\beta_n = n\pi/h$, m и n — любые целые неотрицательные числа.

В этом случае в соответствии с решениями МНФ (1) векторы перемещений и напряжений $\bar{U}$ и $\bar{\bar{U}}$ будут получены в виде:

$$\begin{aligned}\bar{U} &= \sum_{m=0}^{\infty} \bar{U}^{(m)}, \\ \bar{\bar{U}} &= \sum_{n=0}^{\infty} \bar{\bar{U}}^{(n)},\end{aligned}\quad (3)$$

где $\bar{U}^{(m)} = \{\bar{L}_1^{(m)} s_m^a, \bar{L}_2^{(m)} c_m^a, \bar{L}_3^{(m)} s_m^a, \bar{L}_4^{(m)} c_m^a, \bar{L}_5^{(m)} c_m^a\}$, $\bar{\bar{U}}^{(n)} = \{\bar{\bar{L}}_1^{(n)} c_n^h, \bar{\bar{L}}_2^{(n)} s_n^h, \bar{\bar{L}}_3^{(n)} s_n^h, \bar{\bar{L}}_4^{(n)} s_n^h, \bar{\bar{L}}_5^{(n)} c_n^h\}$, а $\bar{L}_i^{(m)}$ и $\bar{\bar{L}}_i^{(n)}$ ($i = 1, \dots, 5$) — числовые степенные ряды по переменным x и y соответственно

$$\bar{L}_i^{(m)} = \sum_{p=1}^4 a_p^{(m)} \bar{L}_{ip} \Big|_{\partial_y = \pm \alpha_m} = \sum_{p=1}^4 a_p^{(m)} \sum_{k=0}^{\infty} \bar{l}_{ip}^k \Big|_{\partial_y = \pm \alpha_m} x^k = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{p=1}^4 a_p^{(m)} \tilde{\bar{l}}_{ip}^k \cdot x^k,$$

$$\bar{\bar{L}}_i^{(n)} = \sum_{p=1}^4 b_p^{(n)} \bar{\bar{L}}_{ip} \Big|_{\partial x = \pm \alpha_n} = \sum_{p=1}^4 b_p^{(n)} \sum_{k=0}^{\infty} \bar{\bar{L}}_{ip}^k \Big|_{\partial x = \pm \alpha_n} y^k = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{p=1}^4 b_p^{(n)} \bar{\bar{L}}_{ip}^k \cdot y^k.$$

В рядах $\bar{L}_{ip}$ и $\bar{\bar{L}}_{ip}$ операторы дифференцирования ∂_x и ∂_y появляются в виде целых степеней. Их замена на числовые значения, представляющие целые степени α_m и β_n с соответствующими знаками, должна выполняться последовательным дифференцированием исходной тригонометрической функции, на которую воздействует оператор.

Каждое из решений (3) позволяет решить задачу удовлетворения граничным условиям на альтернативных противоположных гранях прямоугольника: первое — на гранях $x = 0$ и $x = h$, тогда как второе — на гранях $y = 0$ и $y = a$. В соответствии с методом суперпозиции Ламе сумма двух этих решений

$$U = \bar{U} + \bar{\bar{U}} \quad (4)$$

будет обладать достаточным функциональным произволом для удовлетворения ГУ на всех четырех гранях упругого анизотропного прямоугольника, являясь таким образом общим решением задачи для упругой анизотропной прямоугольной области.

Для каждой прямоугольной области, полученной в результате декомпозиции исходной конструкции, строится общее решение типа (4) с использованием тригонометрических рядов (2) со своими неизвестными коэффициентами, которые определяются из условий удовлетворения граничным условиям конструкции и условиям взаимодействия смежных прямоугольных областей, что приводит к системе линейных алгебраических уравнений.

В практических расчетах ограничиваются конечным числом гармоник в представлении как начальных функций, так и заданных граничных условий. Таким образом, решаемая система линейных алгебраических уравнений является конечной, что равносильно применению метода редукции к исходной бесконечной системе уравнений [4].

3. Растяжение прямоугольной области с поперечной трещиной. Представляет интерес исследование возможности применения предлагаемого подхода к расчету тел, ослабленных трещиной. Для этих целей был выполнен расчет на растяжение изотропной (модуль упругости E , коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$) квадратной ($4a \times 4a$) пластинки с трещиной длиной $2a$ (рис. 1). Растягивающая равномерно распределенная нагрузка интенсивности q_0 приложена к граням, параллельным трещине. Предполагается, что пластина находится в плоском напряженном состоянии.

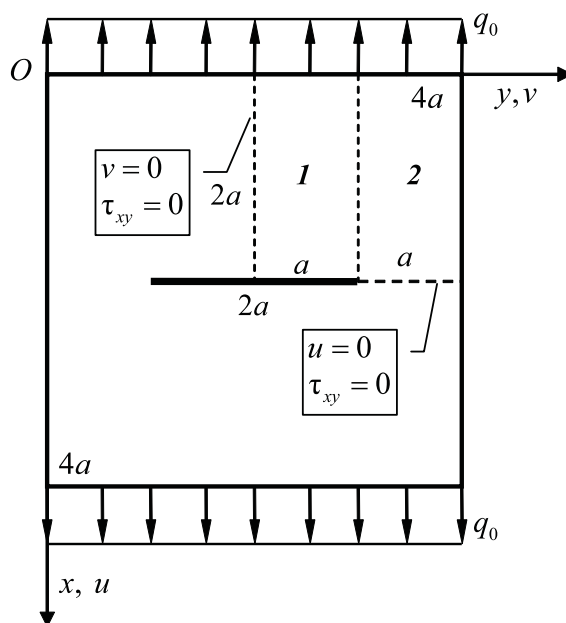


Рис. 1. Расчетная схема растягиваемой равномерной нагрузкой квадратной области $4a \times 4a$ с поперечной трещиной длиной $2a$

Здесь достаточно в силу симметрии рассмотреть напряженно-деформированное состояние части квадратной пластины, например ее верхней правой четверти, которая представляется двумя прямоугольными областями 1 и 2 размерами $2a \times a$. Граничные условия, используемые для формирования линейной алгебраической системы разрешающих уравнений, следующие:

— на вертикальной грани контакта областей 1 и 2 обеспечивается непрерывность перемещений и соответствующих напряжений при переходе через нее из одной области в другую: $u^1 = u^2$, $v^1 = v^2$, $\sigma_y^1 = \sigma_y^2$, $\tau_{xy}^1 = \tau_{xy}^2$, где верхний индекс относится к номеру прямоугольной области;

— на верхних горизонтальных гранях областей 1 и 2 нормальное напряжение $\sigma_x = q_0$, касательное напряжение равно нулю $\tau_{xy} = 0$;

— на нижней горизонтальной грани области 1, которая представляет верхний берег трещины, задаются нулевые напряжения $\sigma_x = 0$ и $\tau_{xy} = 0$;

— на нижней горизонтальной грани области 2, исходя из симметрии, задаются нулевыми перемещение $u = 0$ и касательное напряжение $\tau_{xy} = 0$;

— на левой вертикальной грани области 1, исходя из симметрии, задаются нулевыми перемещение $v = 0$ и касательное напряжение $\tau_{xy} = 0$;

— на правой вертикальной грани области 2 задаются нулевые напряжения $\sigma_y = 0$ и $\tau_{xy} = 0$.

Результаты расчетов напряжений и перемещений при удержании в тригонометрических рядах 35 и 45 членов ряда представлены на рис. 2–5.

Известно, что в вершине трещины напряжения σ_x и τ_{xy} принимают очень большие значения. Расчет по предлагаемой методике также дает большие значения соответствующих напряжений, что видно из графиков нормальных напряжений σ_x в горизонтальных сечениях прямоугольных областей 1 и 2 (рис. 2) и касательных напряжений τ_{xy} в вертикальных сечениях тела 1 (рис. 3).

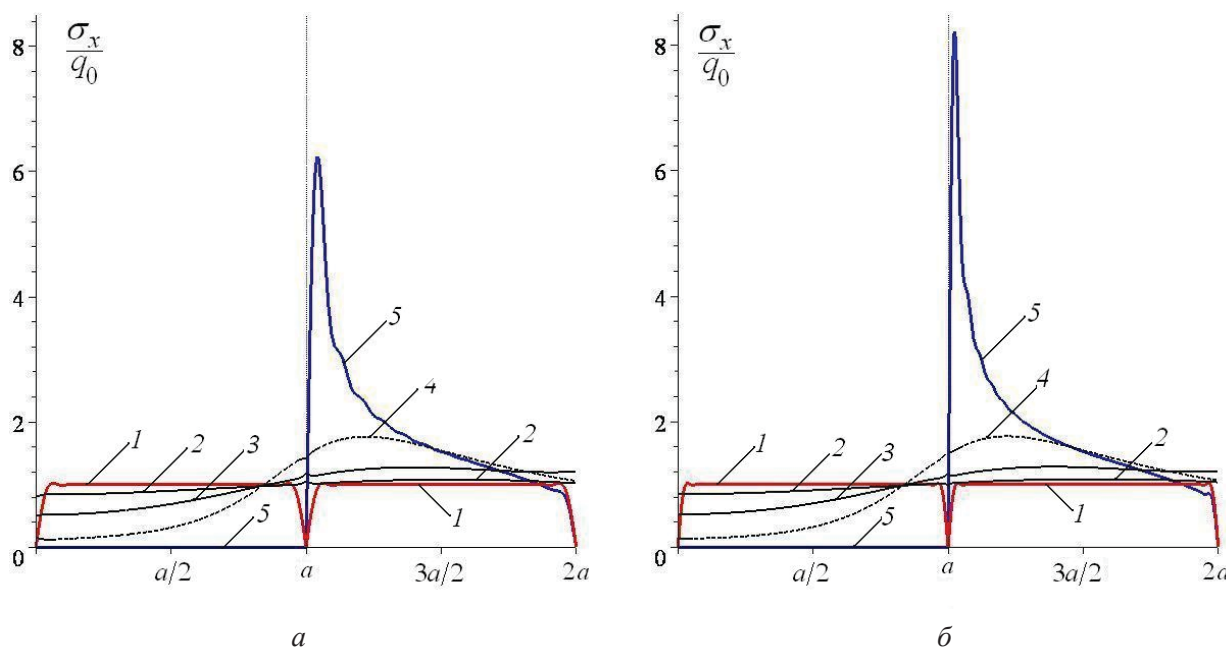


Рис. 2. Безразмерные нормальные напряжения σ_x / q_0 в горизонтальных сечениях с удержанием в тригонометрических рядах 35 (а) и 45 (б) членов

Отметим, что с увеличением количества удерживаемых членов тригонометрических рядов представления компонентов НДС значения этих напряжений в вершине трещины увеличиваются. Обратим внимание, что максимальное значение рассматриваемых напряжений достигается не в вершине трещины, а в близко расположенной с ней точке. Это связано с тем, что напряжения σ_x и τ_{xy} представлены частичными суммами тригонометрических рядов соответственно по синусам и

косинусам и указанный «недостаток» связан с характером сходимости частичных сумм к функции, имеющей разрыв первого рода. С увеличением количества членов в них максимум будет увеличиваться по абсолютной величине, а его точка достижения приближаться к вершине трещины, в пределе сливаясь с ней, что уже можно наблюдать для представленных графиков частичных сумм с 35 и 45 членами.

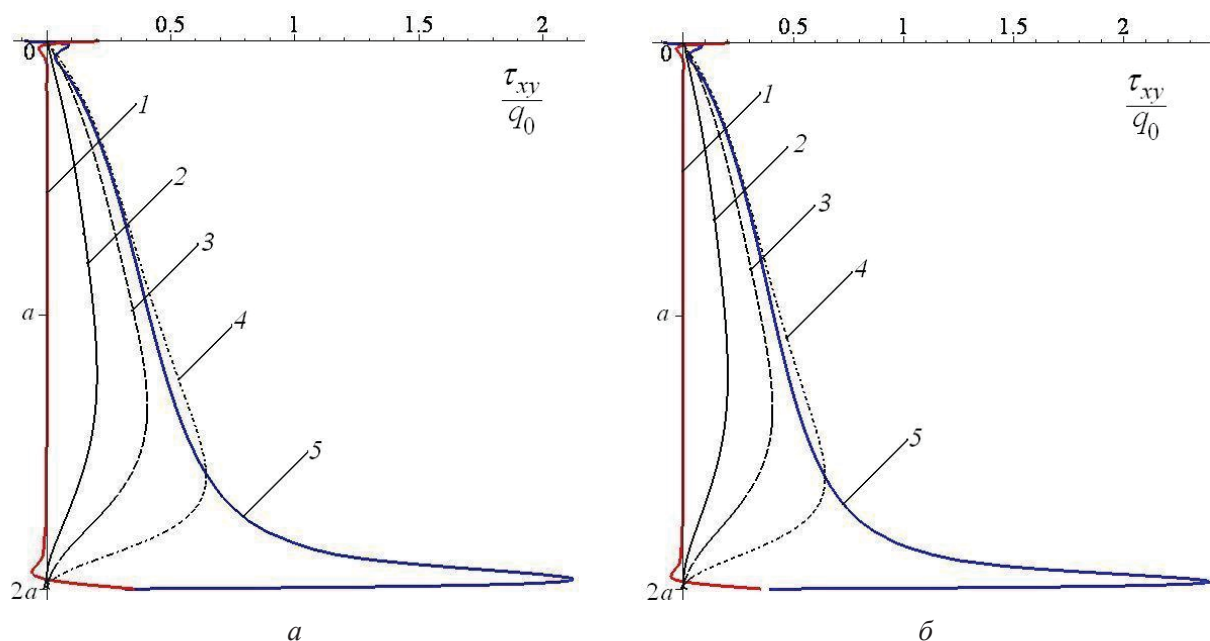


Рис. 3. Безразмерные касательные напряжения τ_{xy}/q_0 в вертикальных сечениях первой прямоугольной области с удержанием в тригонометрических рядах 35 (а) и 45 (б) членов

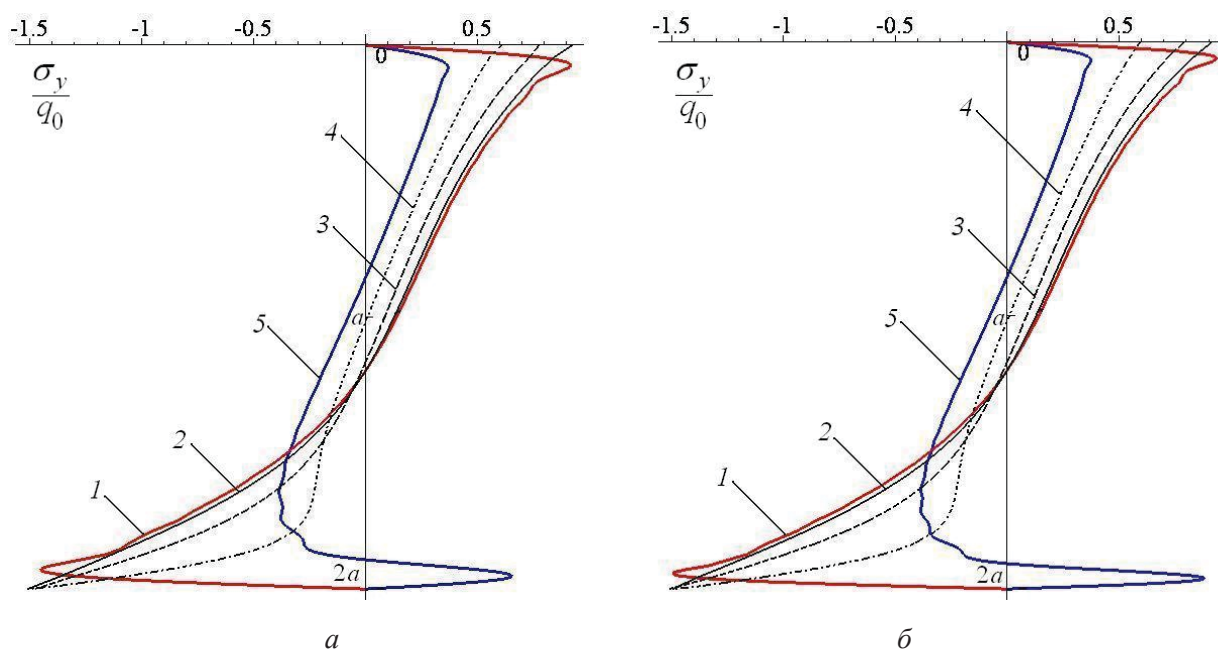


Рис. 4. Безразмерные нормальные напряжения σ_y/q_0 в вертикальных сечениях первой прямоугольной области с удержанием в тригонометрических рядах 35 (а) и 45 (б) членов

Графики нормальных напряжений σ_y в вертикальных сечениях прямоугольной области 1 (рис. 4) показывают, что область над трещиной изгибается и максимальный изгибающий момент

достигается в ее срединном вертикальном сечении (график 1). И опять следует сказать, что в верхних и нижних точках сечений $y = 0$ (график 1) и $y = a$ (график 5) в локальной системе координат прямоугольной области 1 значения напряжения σ_y не равняются нулю, а связаны с представлением его в виде тригонометрического ряда по синусам по координате x , а поэтому частичные суммы в этих точках обращаются в нуль. Истинное значение будет лежать в окрестности значений в указанных точках сечения $y = a/4$ (график 4).

Графики вертикальных перемещений u (рис. 5) дают представление о раскрытии трещины (график 5), а также о перемещении первоначально горизонтальных сечений пластины. Отметим, что перемещение вершины трещины не нулевое, но близко к нему. С увеличением количества удерживаемых членов в тригонометрических рядах оно все ближе к этому значению. Объяснение этому такое же, что и для нормальных и касательных напряжений — медленная сходимость частичных сумм на гранях простых тел к истинным значениям компонентов НДС.

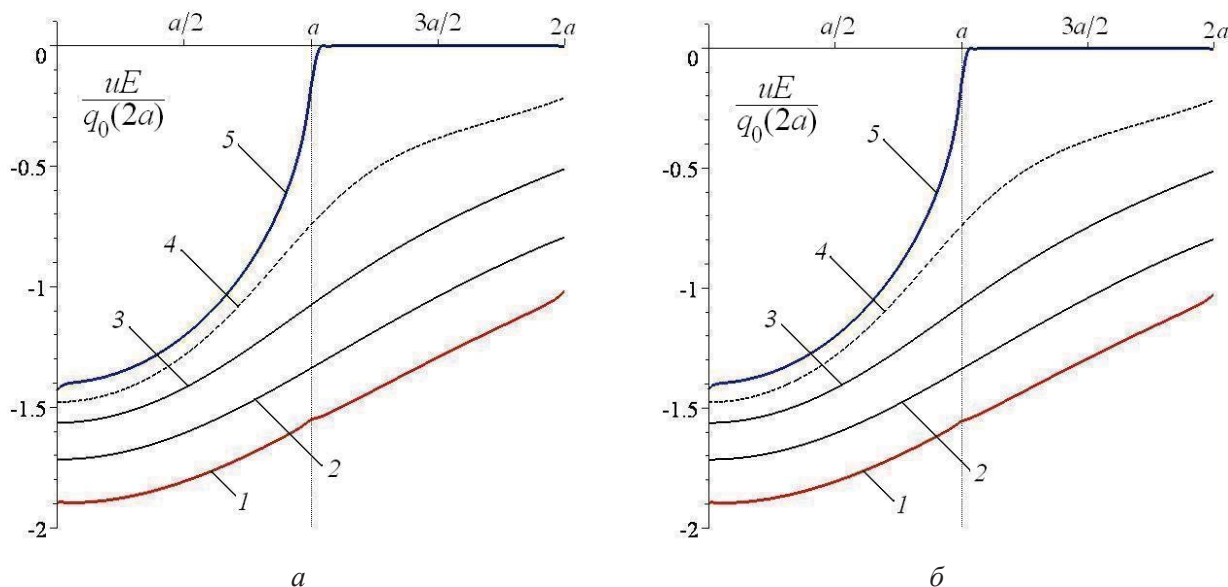


Рис. 5. Безразмерные вертикальные перемещения $uE/2q_0a$ в горизонтальных сечениях с удержанием в тригонометрических рядах 35 (а) и 45 (б) членов

4. Изгиб балки с вертикальной трещиной. Применение подхода на основе декомпозиции к расчету модельной задачи с трещиной показало свою эффективность. Этот же подход может быть применен и к реальным конструкциям со сложной конфигурацией. В этом случае следует, конечно, предполагать или знать, в каком месте конструкции располагается трещина, и при декомпозиции ее на простые тела следует учитывать трещины, разбивая исходное тело на прямоугольные области таким образом, чтобы трещины становились смежными границами простых тел, на которых задаются нулевые напряжения. Правда, при этом следует следить, чтобы при деформировании всего тела трещины раскрывались, так как при их схлопывании задача усложняется.

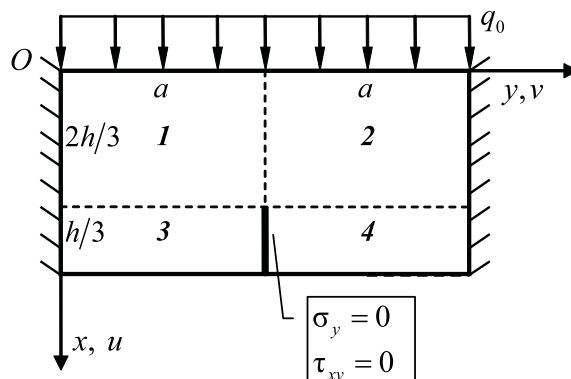


Рис. 6. Расчетная схема изгибаемой балки с вертикальной трещиной длиной $h/3$ в нижней ее части

Рассмотрим изотропную (модуль упругости E , коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$) прямоугольную пластинку размерами ($h \times 2a$, $h = a$) с вертикальной трещиной длиной $h/3$ в нижней ее части, жестко заделанную по вертикальным граням ($u = 0$, $v = 0$) под действием равномерно распределенной нагрузки интенсивности q_0 по верхней грани (рис. 6). На этом же рисунке можно видеть разбиение расчетной пластины на прямоугольные области. На гранях контакта областей 1 и 2, 1 и 3, 2 и 4 обеспечивается непрерывность перемещений и напряжений при переходе из одной области в другую. Прямоугольные области 3 и 4 не контактируют между собой по вертикальным граням, которые представляют собой берега трещины, а поэтому на этих гранях нормальное и касательное напряжения нулевые.

На рис. 7–11 приведены графики компонентов НДС пластины с трещиной и такой же пластины без трещины. На них графики в горизонтальных сечениях, помеченные цифрами со штрихом, построены в сечениях $x = (2h/3)(i-1)/4$ пластины, а без штриха — в сечениях $x = 2h/3 + (h/3)(i-1)/4$, а графики в вертикальных сечениях построены при $y = a(i-1)/4$ (i — номер графика). Расчеты для обеих пластин проводились при 35 удерживаемых в тригонометрических рядах членов.

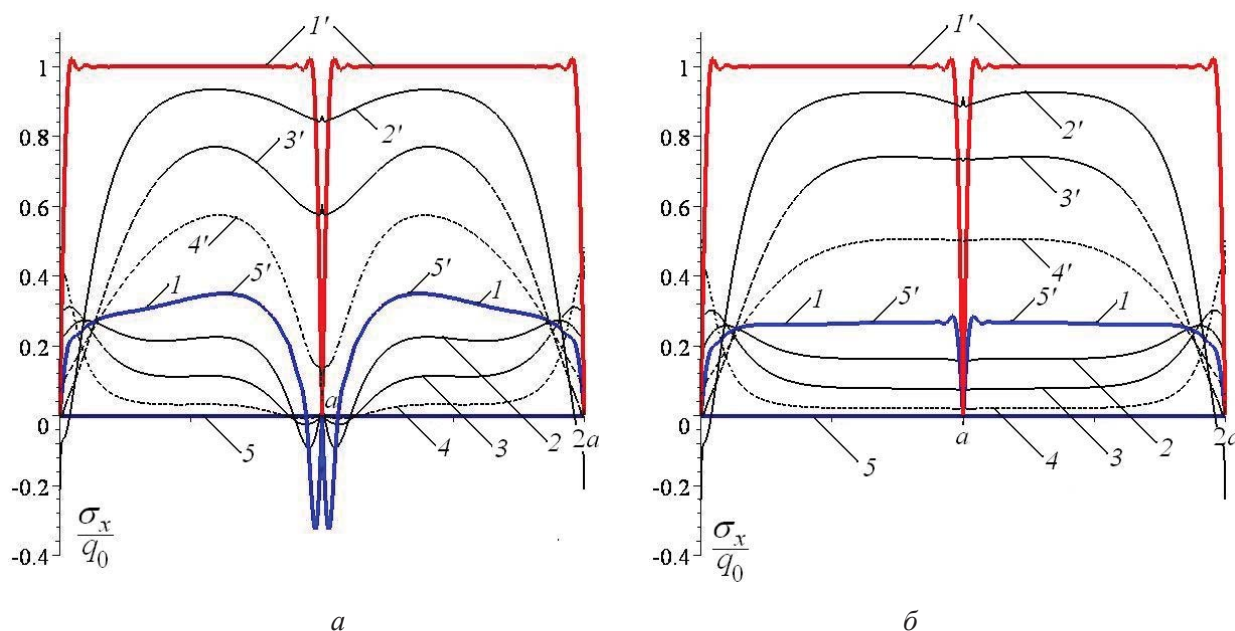


Рис. 7. Безразмерные нормальные напряжения σ_x / q_0 в горизонтальных сечениях пластины с трещиной (а) и без трещины (б)

Нормальные напряжения σ_x в пластине с трещиной (рис. 7) при приближении к ее вершине уменьшаются (см. графики 3', 4' при $y = a$), переходя в окрестности вершины в растягивающие напряжения (см. графики 5' и 1 в окрестности $y = a$), так как q_0 отрицательно. Заметим, что при увеличении количества удерживаемых членов в тригонометрических рядах два экстремума на этой кривой будут сближаться по горизонтали, в пределе при бесконечном числе членов ряда сливаясь в одну точку. Ранее уже отмечалось подобное поведение компонентов НДС, связанное с представлением их тригонометрическими рядами по синусам. Отметим практически одинаковые значения нормальных напряжений для пластин с трещиной и без нее на расстояниях $a/4$ от крайних вертикальных заделанных граней.

Распределение касательных напряжений τ_{xy} (рис. 8) для двух пластин остается практически неизменным, за исключением окрестности вокруг трещины (см. графики 4 и 6 при $x > 2h/3$) с локальным всплеском в ее вершине (см. график 5 при $x = 2h/3$).

Всплеск в вершине трещины наблюдается и для напряжений σ_y (рис. 9). В областях, отдаленных от нее, напряжения также остаются практически одинаковыми в областях, приближенных к заделкам и верхней грани пластины.

Вертикальные перемещения u верхней части обеих пластин высотой $2h/3$ имеют одинаковый характер, хотя у пластины с трещиной они несколько больше (см. графики 1'–5' на рис. 10), тогда как прогибы нижних частей пластин резко отличаются (графики 1–5). Отметим, что нижняя треть пластины с трещиной (графики 1–5 на рис. 10, а) перемещается практически как единое целое, так как она представляет не связанные между собой по центру две части, разделенные трещиной.

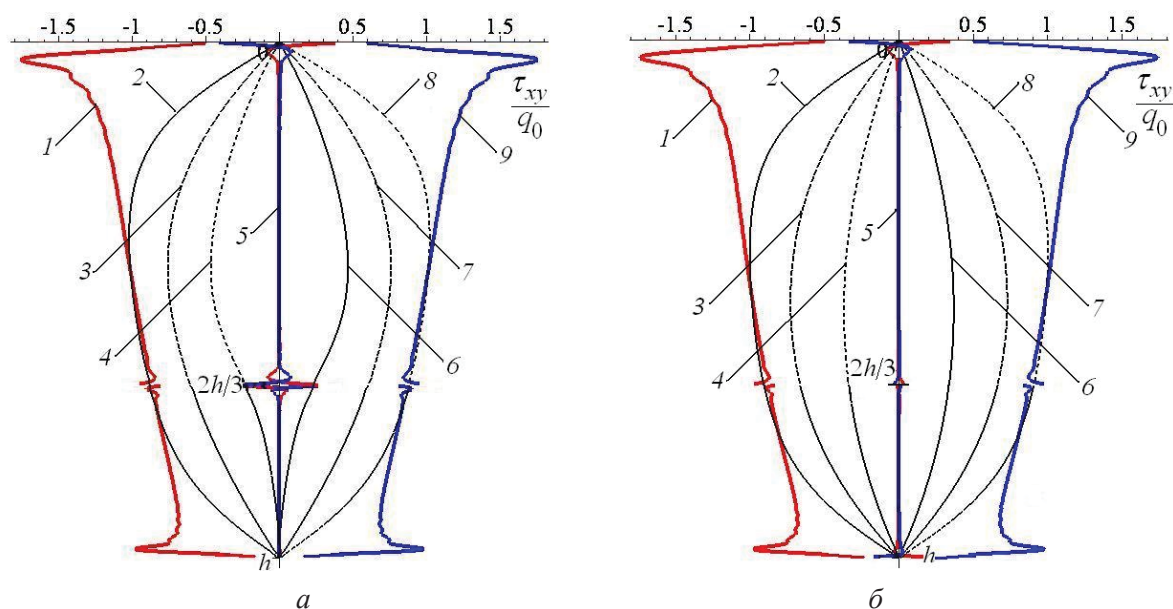


Рис. 8. Безразмерные касательные напряжения τ_{xy}/q_0 в вертикальных сечениях пластины с трещиной (а) и без трещины (б)

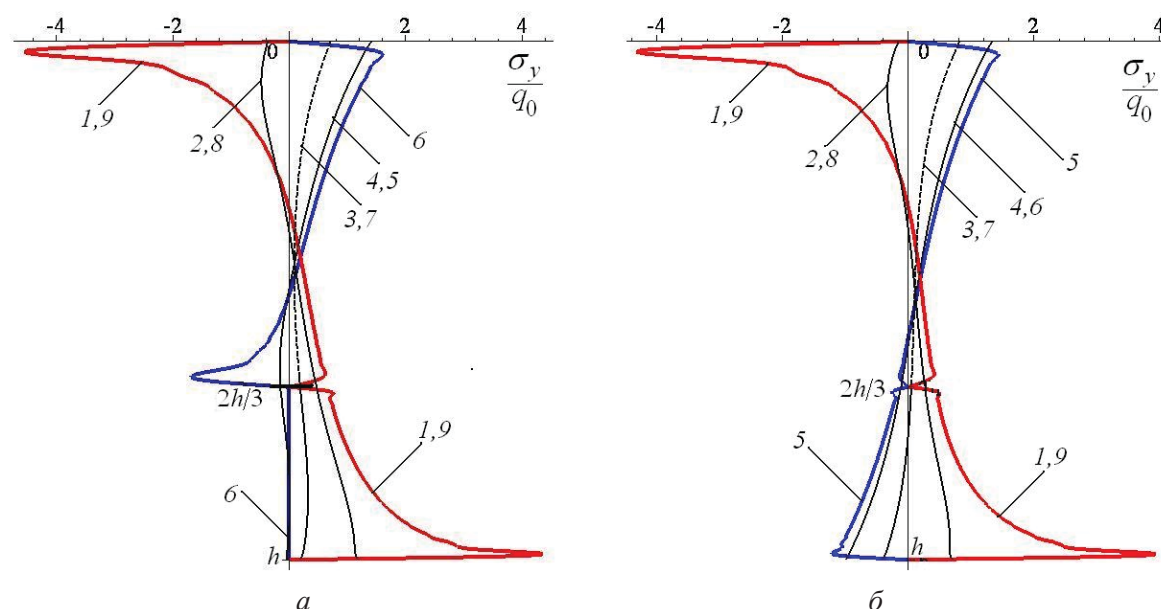


Рис. 9. Безразмерные нормальные напряжения σ_y/q_0 в вертикальных сечениях пластины с трещиной (а) и без трещины (б)

Горизонтальные перемещения v (рис. 11) для двух пластин вне окрестности трещины имеют одинаковый характер распределений с несколько большими значениями для пластины с трещиной. Отличие, конечно, наблюдается в окрестности трещины. Если для пластины без трещины в центральном вертикальном сечении эти перемещения нулевые (график 5 на рис. 11, б), то для тела с трещиной они не нулевые, показывающие раскрытие трещины при рассмотрении графика

ков 5 и 5' на рис. 11, а, вычисленных соответственно в правых сечениях простых тел 1 и 3 и в левых сечениях простых тел 2 и 4. В верхних двух третях указанных сечений ($x \in [0, 2h/3]$) горизонтальные перемещения в них нулевые, а в нижней трети они разнятся, показывая раскрытие трещины при нагружении пластины, наибольшее значение которого достигается в самой нижней точки трещины $\Delta v_{\max} \approx 1,4 \frac{q_0 h}{E}$.

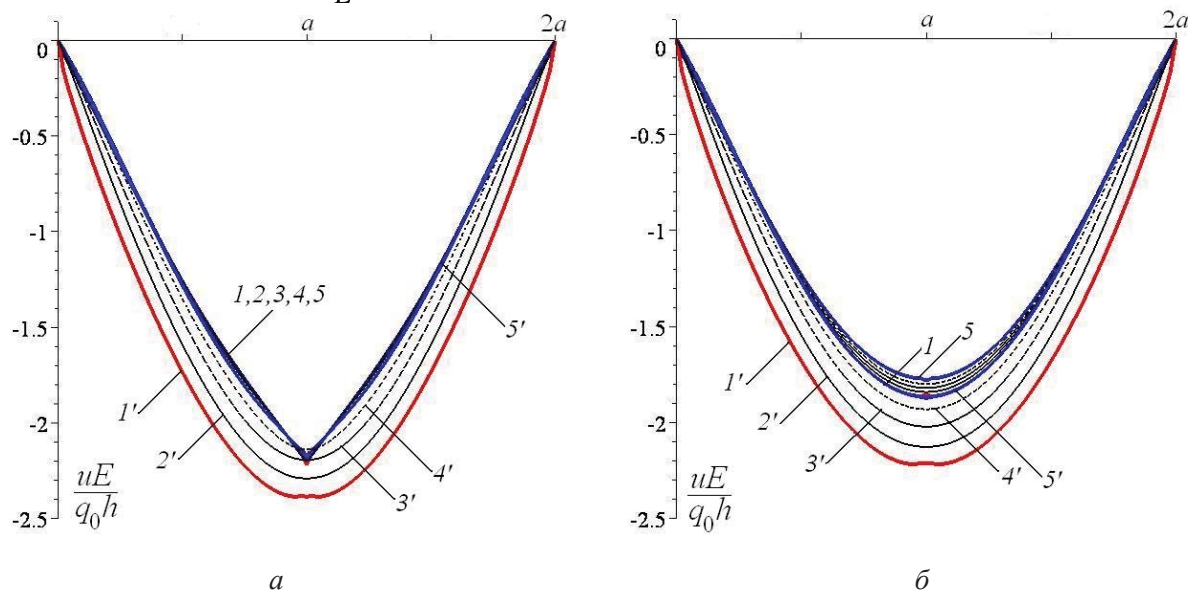


Рис. 10. Безразмерные вертикальные перемещения uE/q_0h в горизонтальных сечениях пластины с трещиной (а) и без трещины (б)

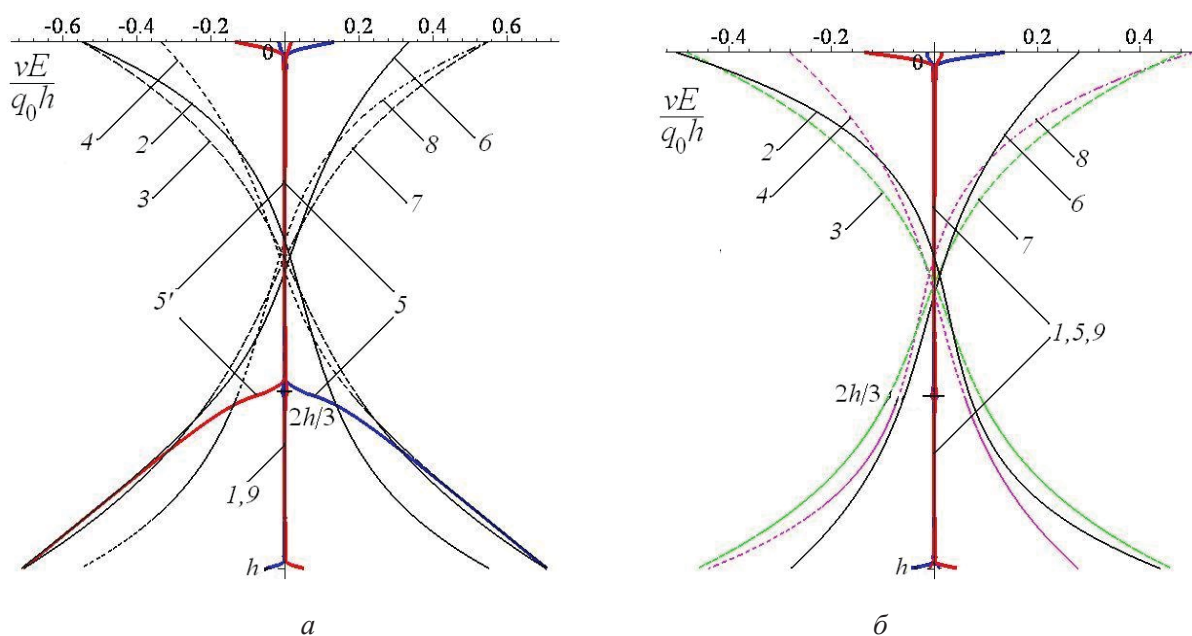


Рис. 11. Безразмерные вертикальные перемещения vE/q_0h в вертикальных сечениях пластины с трещиной (а) и без трещины (б)

5. Заключение. Полученные результаты расчета конструкций с трещинами в упругой стадии ее работы показывают эффективность применения предложенного подхода к моделированию раскрывающихся в конструкции трещин.

Список литературы

1. Матросов А. В. Численно-аналитическое решение граничной задачи деформирования линейно-упругого анизотропного прямоугольника / А. В. Матросов // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 10: Прикладная математика, информатика, процессы управления. — 2007. — Вып. 2.
2. Матросов А. В. Численно-аналитический алгоритм решения задач плоской деформации линейно-упругих тел сложной конфигурации / А. В. Матросов // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 10: Прикладная математика, информатика, процессы управления. — 2008. — Вып. 3.
3. Lamé G. Leçon sur la théorie mathématique de l'élasticité des corps solides / G. Lamé. — P.: Bachelier, 1852. — 335 p.
4. Канторович Л. В. Приближенные методы высшего анализа / Л. В. Канторович, В. И. Крылов. — М.: ГИТТЛ, 1950. — 695 с.

УДК 556.5

Н. В. Селезнева,
аспирант,
СПГУВК

АНАЛИЗ ПРИЧИН ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕТНИХ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ
В РЕЧНЫХ БАСЕЙНАХ ГОРНЫХ РЕК

ANALYSIS OF THE FORMING OF THE SUMMER RAIN FLASH FLOODS
IN RIVER BASINS

В статье рассматриваются причины наводнений, вызванных летними паводками, и способы снижения ущерба. Радикальным способом является регулирование стока рек за счет водохранилищ.

Causes of floods due to summer uprise & and methods of harm lowering are given in the article. The radical method is considered to be river runoff control by means of storage researches.

Ключевые слова: наводнения, сток, площадь затопления, противопаводковые мероприятия.

Key words: floods, river runoff, flooded area, flood protection measures.

К

АТАСТРОФИЧЕСКИЕ наводнения на реках входят в число наиболее опасных природных явлений не только из-за размеров причиняемого ими ущерба, но также из-за ожидаемого роста частоты и интенсивности гидрологических экстремумов при будущих изменениях климата. За десятилетие начиная с 1993 г. в мире зафиксировано не менее 9 наводнений — в США, Европе, Китае и Корее, разовый ущерб от которых превышал 10 млрд долл. Последнее из них произошло в Европе в 2002 г., когда ущерб составил около 12 млрд евро в Германии, около 4 млрд евро в Австрии и 2,5 млрд евро в Чехии [9].

Актуальность проблемы вновь подтвердили события 2005 г. — наводнения в Центральной и Восточной Европе, катастрофы Нового Орлеана и южных штатов США, связанные с ураганом Катрина. Ущерб от Катрины оценен более чем в 100 млрд долл. [7, с. 52–59]. Масштаб подобных катастроф в России значительно меньше, однако и здесь последнее десятилетие отмечено серией

исторических наводнений, суммы ущерба от которых достигали 5–15 млрд руб. (Якутия, юг России и Северный Кавказ). Последствия изменения климата представляются сейчас более тяжелыми и дорогостоящими, чем ожидалось ранее.

В последнее столетие «агрессия» человека на поймы рек приняла такие масштабы, что стало очень сложно создавать упреждающую систему защиты от наводнений. В то же время антропогенные воздействия на водосборы рек привели к разрушению многих естественных механизмов, предупреждающих формирование наводнений или смягчающих их последствия [2]. В результате в век технического прогресса в мире наводнения унесли более 9 млн человеческих жизней и причинили огромный материальный ущерб, который имеет тенденцию к росту. Обострение проблемы наводнений сыграло немалую роль в решении ООН объявить 1990-е гг. десятилетием борьбы со стихийными бедствиями. Вопрос, является ли серия катастрофических наводнений в последние годы исключительно неблагоприятным стечением обстоятельств или реальным направленным изменением гидрологического режима, становится жизненно важным для многих регионов мира.

Устойчивое развитие паводкоопасных территорий требует обеспечения приемлемого для общества уровня опасности наводнений. На противопаводковые мероприятия во всем мире затрачиваются значительные технические усилия и финансовые ресурсы, что приводит к существенному изменению природной, социальной и экономической среды.

Но одних технических мер оказывается недостаточно, поскольку существует экономически обоснованная возможность защиты от частых, но сравнительно небольших паводков. Основная же доля ущерба приходится на крайне редкие катастрофические наводнения. При этом усилия, направленные преимущественно на борьбу с естественным процессом периодического затопления речных долин, негативно сказываются на формировании и продуктивности речных и пойменных биогеоценозов.

Поэтому при планировании и осуществлении противопаводковых мероприятий на первом плане должны быть задачи управления, создания комплексного механизма административного и экономического регулирования использования затопляемых территорий.

В настоящее время специалисты ряда европейских стран (Нидерландов, Австрии, Германии) интенсивно обсуждают новые концепции и, более того, проекты «реконструкции пойм», то есть сокращения их урбанизации и устранения излишнего стеснения сооружениями, что должно привести к частичному восстановлению их естественного облика и стокорегулирующих функций. К сожалению, в России за последние 15 лет наметилась совершенно противоположная тенденция. Практическая деятельность скатилась от проектирования и реализации комплексных технических систем защиты от наводнений и освоения водных ресурсов, включающих водохранилища, защитные дамбы и другие меры, к примитивным схемам прямого реагирования, спасения людей и компенсации ущерба при различных ситуациях [2].

Все частные задачи исследований, как традиционные, так и вновь формулируемые, относятся к различным аспектам проблемы наводнений. Объектом исследований являются в основном малые и средние реки юга Дальневосточного региона России, в режиме которых преобладает дождевой паводочный сток. Принципиальной позицией является использование наиболее массовых, реально доступных массивов исходных данных — это стандартные данные стационарных наблюдений гидрометеорологической сети, а также данные, получаемые с топографических карт крупного и среднего масштаба (1:25 000–1:200 000) и с широко доступных специальных карт, характеризующих ландшафты и отдельные их компоненты.

На востоке России протекают самые беспокойные реки — Амур и его притоки Зея и Уссури. Здесь большие наводнения связаны с летними муссонными дождями. «Со времен поселения русских на Амуре, то есть с 1855 по 1882 г., было до восьми больших наводнений, из которых особенно опустошительно было наводнение 1872 г.» [4, с. 121]. Отметки уровней этого наводнения были восстановлены по следам и в настоящее время используются для гидрологических расчетов. Это наводнение остается самым высоким на Нижнем и Среднем Амуре за период, который пока

равен 152 годам (1855–2006), однако судя по высоте подъема уровня воды действительный период повторяемости такого паводка значительно больше.

Наводнение есть комплекс негативных природно-хозяйственных процессов, обусловленных превышением расхода воды над пропускной способностью речного русла, развивающихся одновременно и/или вследствие такого превышения.

Основными факторами формирования стока являются климатические (зональные), которые определяют общий характер распределения годового стока в данном географическом районе — режим рек. Гидрологическая зональность определяет постоянное соотношение источников питания, а следовательно, и устойчивую форму гидрографа стока средних рек, расположенных в одной географической зоне. На этом принципе основана классификация рек, предложенная Б. Д. Зайковым [5]. В соответствии с ней все реки делятся на три основные группы: с весенним половодьем, с половодьем в теплую часть года и паводочным режимом. Однако если климатические факторы определяют общую форму гидрографа, то другие физико-географические характеристики бассейна могут в значительной мере изменять внутригодовое распределение стока, свойственное данному району.

Паводками называют повышение уровня и расхода воды в теплое время года в результате выпадения дождей.

В большой мере на характер паводков и половодий влияет величина речного бассейна. Это связано с тем, что закон гидрологической зональности справедлив в определенных пространственных масштабах, так как каждый водосбор состоит из большого числа элементарных площадей, условия стока с которых различны. Кроме того, при больших размерах бассейна все большую роль в формировании гидрографа играют условия движения вод по русловой сети, то есть гидравлические факторы, а не сами условия формирования максимального стока, определяемые гидрофизическими факторами.

В небольших бассейнах азональные факторы (мезо- и микрорельеф, геологическое строение, особенности почвенного и растительного покрова и т. д.) оказывают большое, а иногда и преобладающее влияние на формирование стока. В последние же десятилетия в результате активного антропогенного воздействия на водосборы наметилась тенденция заметного изменения этих физико-географических факторов, проявляющаяся в возрастании доли поверхностей с низкой стокорегулирующей способностью. В результате происходит перераспределение стока внутри года: как правило, увеличение в многоводные фазы и уменьшение в меженные периоды.

Для большей части территории России, особенно исторической ее части, весеннее половодье является, безусловно, определяющей фазой режима годового стока, что явно отразилось и на характере российской гидрологической науки. В то же время для многих других стран, в том числе с развитой экономикой и наукой (страны Западной и Центральной Европы, США, Австралия, Китай), более характерен режим рек с преобладанием паводочного стока, причем не только в теплый период года. Соответственно интерес зарубежных гидрологов к дождевому паводочному стоку значительно больше, чем к весеннему снеготаянию и вызываемым им половодьям.

Одних инженерных противопаводковых мероприятий недостаточно для решения проблемы наводнений. Для организации эффективной системы защиты необходим анализ не только условий затопления местности, но и причин роста ущерба, которые можно разделить на две группы: экологические и социально-экономические.

К экологическим следует относить причины, обусловленные глобальным или локальным антропогенным воздействием на окружающую среду. Антропогенное воздействие на водосбор в виде сведения лесов, сельскохозяйственного освоения и урбанизации приводит к снижению его регулирующей способности. Стеснение речных русел и пойм оградительными дамбами, насыпями дорог и мостами, засыпкой проток, застройкой приводит к повышению уровня воды по сравнению с естественным и к интенсификации русловых процессов, что существенно усугубляет последствия наводнений. Значительную потенциальную опасность представляет прогресс глобального потепления.

К социально-экономическим причинам роста ущерба от наводнений относятся факторы, провоцирующие этот рост в результате действий населения и хозяйствующих субъектов, реакции общества на политическую и экономическую ситуацию. Главной причиной роста ущерба от наводнений является все более широкое вовлечение в хозяйственный оборот пойменных, периодически затопливаемых территорий. В последнее столетие прослеживается тенденция ускоренного роста стоимости недвижимости и имущества на паводкоопасных территориях. В Сибири и на Дальнем Востоке ущерб причиняют даже паводки 20–30 %-ной обеспеченности. Это вызвано отсутствием многовекового опыта приспособления населения к режиму рек. Статистические данные свидетельствуют как о росте частоты опасных паводков на территории азиатской части России, так и об увеличении ущерба от них.

Инженерные противопаводковые мероприятия могут приводить как к росту экономического ущерба от наводнений, так и к экологическому ущербу. Инженерные сооружения нередко приводят к усилению действия разрушительных факторов наводнений (росту уровней, расходов, скоростей, интенсификации русловых и пойменных деформаций) и негативно сказываются на условиях существования и продуктивности биогеоценозов.

Древнейшим техническим способом защиты от наводнений является устройство ограждающих дамб. О масштабности работ по обвалованию свидетельствует пример КНР, где за 30 лет (1950–1980) восстановлены и построены дамбы протяженностью 170 тыс. км. Дамбы обвалования — несложные сооружения высотой 2–6 м из местного грунта. Отметка гребня дамбы назначается с учетом того, что при отсечении поймы уменьшается площадь живого сечения и повышаются уровни воды. В то же время не всегда учитывается распространение возникающего подпора вверх по течению, что приводит к повышению риска затопления вышележащих территорий. Другим недостатком защиты территорий дамбами является значительная вероятность их разрушения или перелива воды через гребень в связи с низким классом капитальности сооружений. В то же время наличие дамб внушает чувство уверенности в надежности защиты и вызывает ускоренный рост стоимости недвижимости и имущества на «защищенных» территориях. Зачастую при неконтролируемом развитии территорий уже через несколько лет после строительства защитных сооружений среднегодовой потенциальный ущерб начинает превосходить аналогичные показатели до строительства.

Нередко надежность дамб со временем уменьшается даже при осуществлении всех необходимых эксплуатационных работ. Одной из самых опасных причин этого является отложение наносов в междамбовом пространстве (особенно на участках перелома продольного профиля реки). В мировой и отечественной практике известны случаи, когда после многих лет эксплуатации дамб река становится «висячей» — ее меженные уровни начинают превышать отметки прилегающей территории. Прорыв дамб на таких участках грозит затоплением огромных пространств и сменой русла реки, что еще более опасно.

Другим инженерным способом, используемым при защите от наводнений всех видов, является подсыпка территорий. Ее сущность заключается в подъеме поверхности земли до отметок, превышающих расчетный уровень. В связи с высокими капитальными затратами подсыпка выполняется, как правило, только в городах. В РФ работы по подсыпке территорий осуществлены в Санкт-Петербурге, Архангельске, Нижнем Новгороде, Омске, Ярославле, Самаре и других городах.

Локальная защита также осуществляется за счет повышения пропускной способности речных русел. Это достигается за счет уменьшения гидравлического сопротивления русел, их спрямления или строительства разгрузочных (обводных) каналов. Уменьшение гидравлического сопротивления русел позволяет пропускать один и тот же расход воды при более низких уровнях. Спрявление русел увеличивает уклоны потока и тоже понижает паводочный уровень воды. Влияние спрямлений усиливается тогда, когда кривая спада от одного спрямления доходит до другого, вышележащего. В этом случае наносные отложения в зоне кривой подпора выносятся вниз по течению и весь участок реки более или менее углубляется. Строительство разгрузочных каналов приводит к уменьшению расходов в основном русле.

Общий недостаток всех локальных защитных мероприятий — повышение риска наводнений на нижележащих участках речного бассейна. Это вызвано тем, что, защищая территории от затопления, они приводят к исключению из регулирования стока соответствующего объема пойм и пропуску всего высокого стока транзитом. Рост расходов на нижележащих участках наиболее заметен на реках с паводковым режимом, где в естественных условиях при быстром повышении уровней значительная часть объема воды расходуется на затопление поймы. В бассейнах с весенним половодьем эффект роста расходов становится существенным лишь при обваловании достаточно значительной части пойм.

Радикальным способом защиты от наводнений традиционно считается регулирование стока водохранилищами. Уменьшение паводковых расходов при этом достигается путем перераспределения стока во времени. В зависимости от назначения водохранилищ и режима рек можно выделить следующие характерные особенности регулирования: многоцелевые водохранилища на реках с паводочным режимом обычно проектируются с противопаводковым объемом форсировки, достаточным для срезки максимума; в многоцелевых водохранилищах на реках с половодьем противопаводковая емкость создается не только за счет объема форсировки, но и за счет сработки части полезного объема перед прохождением максимальных расходов; в одноцелевых противопаводковых водохранилищах в регулировании максимального стока участвует вся емкость водохранилищ.

Наиболее реальными мерами по восстановлению регулирующей способности водосборов являются противоэрозионные и лесовосстановительные мероприятия. В первую очередь должны реализовываться проекты, обеспечивающие не только восстановление плодородия почв и качества лесного покрова, но и оказывающие наибольшее регулирующее воздействие на водные ресурсы. При выборе противоэрозионных мероприятий предпочтение должно отдаваться способам, при которых происходит перехват наибольшего объема поверхностного стока.

Реки бассейна Амура и Японского моря по характеру водного режима относятся к дальневосточному типу с выраженным дождевым питанием. Доля дождевого питания в объеме годового стока составляет 47–85 %, снегового — 2–26 %, подземного — 9–31 %. Соотношение источников питания рек в каждом отдельном случае определяется географическим положением водосбора, существенное значение имеют его высота, наличие многолетней мерзлоты.

Главной фазой водного режима этих рек являются дождевые паводки, наблюдающиеся в теплое время года. На паводочный период приходится большая часть годового стока. Паводочный период в западной части района начинается в конце мая — начале июня, в восточной — в мае, причем в северных районах он наступает на 15–20 суток позже, чем в южных. Длится паводочный период в среднем от 140–170 суток (в восточных и южных районах) до 110–150 суток (в северных и западных районах). Паводки в основном наблюдаются в июле–сентябре, в июне и октябре они также могут иметь место, но значительно реже и не на всех реках. Паводки, наблюдавшиеся в мае, как правило, смешанного снегодождевого происхождения. За летне-осенний период проходит от 5–10 до 15 паводков. Паводки представляют собой хорошо выраженные подъемы воды в виде одиночных (одномодальных) или многовершинных пиков, разделенных между собой периодами относительно низких уровней, продолжительностью от нескольких до 10 суток и более.

Большая интенсивность летних осадков при значительном предшествующем увлажнении почвогрунтов бассейна способствует образованию мощных дождевых паводков, сопровождающихся наводнениями на многих реках. В качестве примера [8] можно привести наводнения, возникшие в июле 1958 г., от дождей, имевших большую интенсивность и огромную площадь распространения: они охватили практически весь бассейн Верхнего Амура. Наиболее развита паводочная деятельность на реках юга Приморья, в бассейнах Усури, Шилки, Онона, Зеи, Буреи [6].

Другой отличительной чертой водного режима рек является снеговое половодье. Обычно оно начинается в первой половине апреля и заканчивается во второй половине мая. Продолжительность его в среднем составляет от 20–35 до 40–50 суток. Интенсивность подъема уровней во время половодья меньше, чем в период прохождения паводков. В первые дни она невелика —

0,2–0,3 м/сут. По мере усиления притока талых вод интенсивность возрастает. В отдельные годы на Амуре, Шилке, Зее и Бурее она составляла 2–3 м/сут, а при заторах льда при ледоходе достигала 4–5 м/сут. Продолжительность подъема весеннего половодья на участках верхнего течения больших и средних рек составляет 2–6 суток; по мере удаления от истока она увеличивается до 6–10 суток и более.

Весенние максимумы наблюдаются примерно с 20 марта по 10 мая. На малых реках наиболее высокая волна половодья проходит несколько раньше, чем на больших и средних реках (разница в среднем составляет 5–10 суток). Спад половодья по сравнению с подъемом более продолжителен. Наиболее интенсивный спад отмечается в первые 3–5 суток после прохождения волны половодья и достигает 2–4 м/сут. Сток за период весеннего половодья в среднем составляет около 15 % годового стока. Наименьшая доля (5–10 %) наблюдается на западе района, наибольшая (20–30 %) — на реках бассейнов Зеи и Буреи, за исключением водотоков Зейско-Буреинской равнины.

Летняя межень на реках региона почти не выражена. На реках степных и лесостепных районов (западная часть) при отсутствии дождей весной после половодья наступает период очень низкого стока, который может быть длительным. Летом могут наблюдаться более или менее длительные промежутки времени пониженного стока между волнами отдельных паводков. Осенью с уменьшением количества осадков дождевое питание рек заметно снижается, но, несмотря на это, доля осеннего стока достаточно велика и составляет 15–20 % годового. Зимой сток рек уменьшается вследствие прекращения поверхностного питания и истощения запаса грунтовых вод.

На рис. 1 показаны паводковые гидрографы за 2000, 2002, 2004, 2006 и 2008 гг. на примере р. Малиновки Амурского бассейна у с. Ракитное.

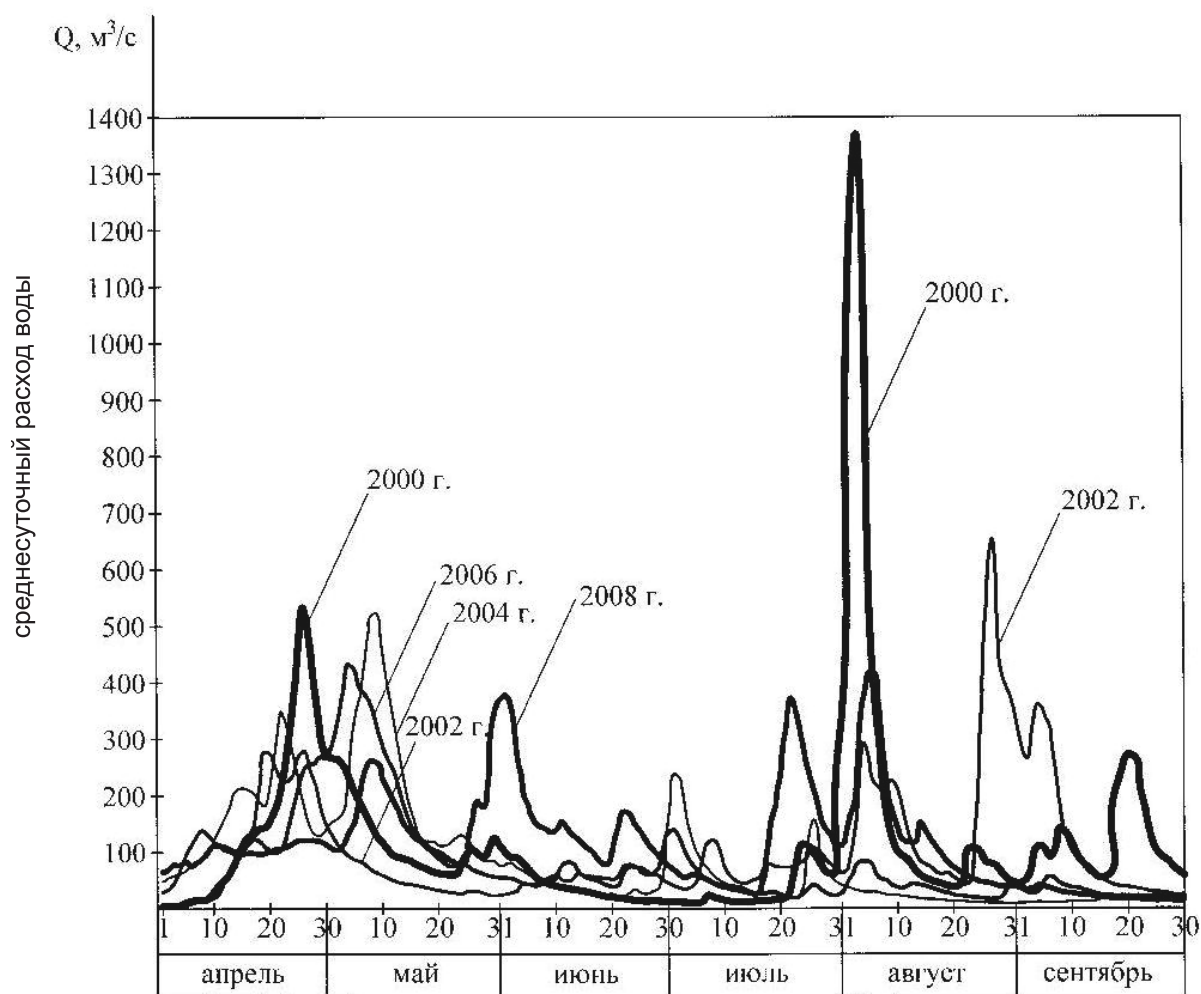


Рис. 1. Гидрографы паводковых расходов на р. Малиновке у с. Ракитное за 2000, 2002, 2004, 2006 и 2008 гг.

Приморский край находится в зоне активной циклонической деятельности и почти ежегодно подвергается затоплениям от разливов рек, вызываемых осадками большой продолжительности и высокой для больших интервалов времени интенсивности при прохождении южных, юго-западных и западных циклонов, особенно тропических циклонов (тайфунов).

Только в 2000 г. Приморский край подвергался наводнениям четырежды — при прохождении на реках паводков от дождей, вызванных: тайфуном Болавен (28 июля — 1 августа), обусловившим интенсивные осадки по всему краю, за исключением его западных районов; южным циклоном при обострении фронтальных разделов (19–21 августа) — интенсивные осадки преимущественно в южных и центральных районах края; тайфуном Прэпирун (31 августа — 1 сентября) — интенсивные осадки в южной половине края; тайфуном Самозй (16–17 сентября) — интенсивные осадки в южных и западных районах края. Общий ущерб, нанесенный краю этими тайфунами, превысил 1 млрд руб. Были разрушены 63 дамбы.

Сравнительно благоприятные природно-климатические условия позволяют Приморскому краю вносить большой вклад в экономику сельского хозяйства Дальнего Востока, производить более трети сельскохозяйственной продукции региона. Основными видами сельскохозяйственных культур, выращиваемых в крае, являются рис, соя, овощи, картофель, зерновые. Основной причиной низкой урожайности являются нестабильность сельскохозяйственного производства, связанная с гибелью посевов от периодически повторяющихся наводнений, почти ежегодным переувлажнением почв во второй половине лета и большим эрозийным смывом почв.

Для рек Приморского края характерен паводочный режим на протяжении всего периода открытого русла: дождевые паводки могут наблюдаться в любое время в период с апреля по октябрь. Но чаще всего они бывают в июле–сентябре. Большие интенсивности дождей за сравнительно длительные интервалы времени, пересеченный рельеф и большие уклоны водосборных площадей и русел в зонах формирования стока обуславливают быстрое формирование паводков в бассейнах рек. Паводки часто достигают значительной высоты и в результате подъема уровня воды в реке вызывают наводнения — затопление водой сельскохозяйственных угодий, населенных пунктов и промышленных предприятий, расположенных выше ежегодно затопливаемой поймы в пределах речной долины. Общая площадь затопления при катастрофических наводнениях достигает 11 тыс. км², что составляет 6 % всей площади Приморского края, или около 30 % его равнинной части.

Большинство наводнений в южных и юго-восточных районах Приморского края обусловлено выпадением дождевых осадков от юго-западных циклонов и тропических циклонов (тайфунов), которые перемещаются с Желтого моря на Японское. В западных же и северных районах края (Западно-Приморская равнина, бассейны рек Большой Уссузки и Бикина) наводнения обычно вызываются воздействием западных циклонов.

Защита сельскохозяйственных угодий от затопления в крае осуществлялась путем строительства дамб в составе мелиоративных систем (на 1989 г.) и составляла 1200 км. Паводками в том же году было разрушено 240 км дамб. Происходили их разрушения и в последующие годы, к тому же строительство дамб было сокращено.

7 августа 2001 г. за сутки в Приморском крае выпало более 200 мм осадков, это почти две месячные нормы. В южном Приморье ливневые дожди разрушили 14 автомобильных мостов и свыше 70 км автомагистрали между Владивостоком и Находкой. На подходах к Владивостоку размыто около 7 км железнодорожного полотна, снесен один из мостов, по которому проходила стальная колея [1]. По Транссибирской магистрали до Владивостока не доходил ни один поезд.

Во Владивостоке были подтоплены около 170 домов, разрушены 6 автомобильных мостов, вместе с пригородом здесь были повреждены 169 частных домов, подтоплены 386 высотных зданий и 3 детских сада, рухнули 4 подпорные стенки. Повреждено 90 км автомобильных дорог, две линии ЛЭП, 360 трансформаторных подстанций, линии связи, пострадало до 26 тыс. человек.

В целом по краю было подтоплено 1448 км², на которых постоянно проживает более 80 тыс. человек, 11 человек погибли. В той или иной степени разрушены 1337 частных домов, залиты

690 подвалов и первых этажей многоквартирных домов, более тысячи крыш требовали срочного ремонта, требовали восстановления 37 автомобильных мостов и 246 км автодорог. Вода нанесла урон сельскохозяйственным угодьям и частным огородам на площади 601 тыс. га [1].

На рис. 2 показаны зоны затопления 7–9 августа 2001 г.

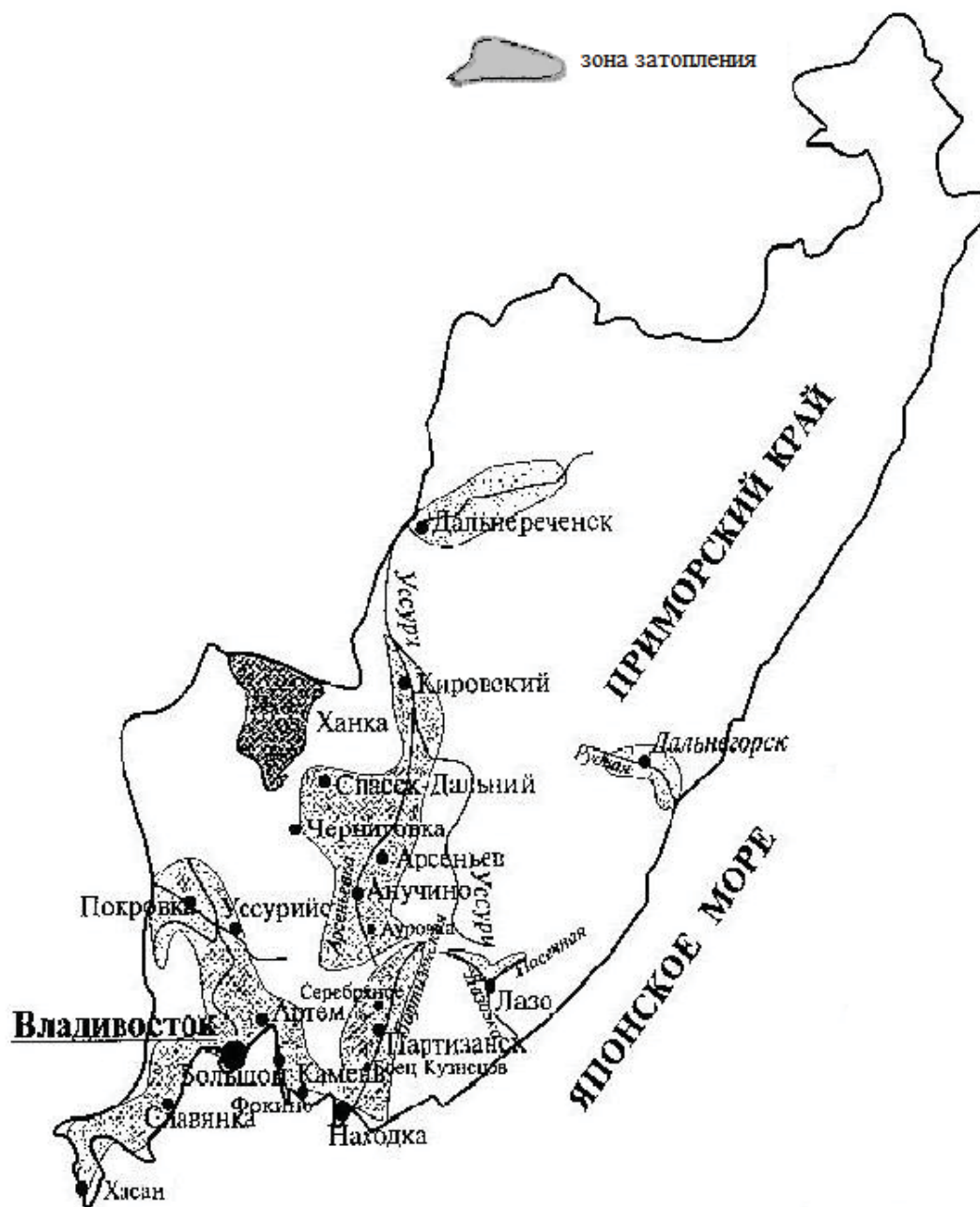


Рис. 2. Зоны затоплений на территории Приморского края 7–9 августа 2001 г.

В зоны затопления попали города: Владивосток, Находка, Артём, Арсеньев; районы: Амурский, Хасанский (р/ц Славянск), Партизанский, Шкотовский (р/ц Большой Камень), Уссурийский, Октябрьский (р/ц Покровка), Черниговский, Спасский, Кировский, Дальнереченский, Дальнегорский.

Ущерб, нанесенный наводнением, был оценен в 1,588 млрд руб. (годовой бюджет края — 9 млрд руб.). Только Владивосток представил свой ущерб на сумму 1271 млн руб. Эта сумма составляла около трети городского годового бюджета.

В отличие от запада России, где паводок приходится на раннюю весну, в Приморье вода низвергается с небес летом и в начале осени, когда созревает урожай. Известно, что наиболее плодородные почвы в Приморье находятся именно в поймах рек, и при катастрофических паводках затопливается около 30 % наиболее освоенной пашни.

Согласно расчетам специалистов Института «Дальводпроект», площадь зоны затопления составила 1110 тыс. га, что составляет около 7 % территории края. А если учесть, что более 80 % площади Приморья занимают горы, то оказывается, что в зоне затопления находится половина равнинной территории края, которая является и селитебной, и сельскохозяйственной зоной. Так как незатапливаемая половина расположена в основном в Приханкайской низменности, то в северных, центральных, восточных и южных районах края в зоне затопления находится практически вся равнинная часть, где размещаются все населенные пункты и сельхозугодья. В целом по Приморью в зоне затопления проживают 212 тыс. человек в 178 населенных пунктах, в том числе и в главных городах края; здесь находятся 320 тыс. га сельхозугодий, в том числе 130 тыс. га пашни, 750 км автомобильных дорог.

Список литературы

1. Воробьев Ю. Л. Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов; под общ. ред. Ю. Л. Воробьева. — М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2003. — 224 с.
2. Гарцман Б. И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценок риска / Б. И. Гарцман; Тихоокеанский институт гидрографии ДВО РАН. — Владивосток: Дальнаука, 2008. — 223 с.
3. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 2000 г. — Владивосток, 2006. — Т. 1: Россия. — Вып. 21: Бассейны Усури и рек Японского моря.
4. Зайков Б. Д. Высокие половодья и паводки на реках СССР за историческое время / Б. Д. Зайков. — Л.: Гидрометеиздат, 1954. — 134 с.
5. Зайков Б. Д. Средний сток и его распределение в году на территории СССР / Б. Д. Зайков // Тр. НИУ ГУГМС. — 1946. — Сер. IV, вып. 24. — 147 с.
6. Природные опасности России: моногр.: в 6 т. — М.: КРУК, 2001 — Т. 5: Гидрометеорологические опасности. — 295 с.
7. Тренберт К. Чем теплее океаны, тем сильнее ураганы // В мире науки. — 2007. — № 10.
8. Условия формирования и прохождения паводка на реках Восточного Забайкалья в июле 1958 года. — Чита, 1959. — 28 с.
9. Extreme Hydrological Events: New Concepts for Security. NATO Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences. Springer-Verlag. — Berlin; Heidelberg; N. Y., 2007. — 499 p.

УДК 627

Г. А. Гладков,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК;

П. В. Беляков,
канд. техн. наук, доцент,
СПГУВК;

С. С. Орлов,
СПГУВК

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СУДОХОДНЫХ УСЛОВИЙ НА НИЖНЕМ НЕМАНЕ

PROVIDING NAVIGABLE CONDITIONS ON THE LOWER NEMAN

На основе анализа современных гидрографических материалов, исследования гидрологического и руслового режимов, а также по результатам математического моделирования характеристик движения воды и транспорта наносов в нижнем течении р. Неман дается оценка возможности увеличения гарантированной глубины для создания единого водного пути с выходом в Куршский залив.

On the basis of the analysis of modern hydrographic materials, research of hydrological and channel modes, and also by results of mathematical modeling of characteristics of movement of water and transport of deposits in the lower watercourse of Neman an assessment of possibility to increase the guaranteed depth for creation of a uniform waterway with an exit to the Kurshsky gulf is given.

Ключевые слова: внутренние водные пути, путевые работы, проектный уровень путевых работ, геодезические работы, гидрологические исследования, русловые изыскания, русловые переформирования, математическое моделирование.

Key words: internal waterways, dredging works, designed level of dredging works, geodetic works, hydrological researches, bed researches, bed rearrangements, mathematical modeling.

Гидротехническое строительство на Немане

Река Неман (по-литовски Нямунас, по-белорусски Нёман, Неманец) — река, относящаяся к бассейну Балтийского моря. Протекает по территории Белоруссии, Литвы, ниже г. Смалининкай — по границе Литвы с Калининградской областью РФ. Общая протяженность р. Неман составляет 937 км, в том числе в Калининградской области 107 км. Схема р. Неман показана на рис. 1.

В реку впадает около 1300 притоков, суммарная длина которых достигает 8 тыс. км. Главными притоками справа являются Березина, Мяркис, Нярис, Нявежис, Дубиса, Юра, Миния; слева — Щара, Шешупе. Река Шешупе впадает в Неман с территории Калининградской области, имея исток в Польше. Наиболее крупными притоками являются р. Щара (площадь водосбора 7 тыс. км²) и р. Вилия (площадь водосбора 25 тыс. км²).

В 1956–1961 гг. на Немане у г. Каунаса была построена Каунасская ГЭС с водохранилищем. Действующий Каунасский гидроузел имеет высоту подпора 19,8 м, полезный объем водохранилища 0,22 км³, длину 64 км, площадь водного зеркала 63,5 км². В последующем она должна была войти в каскад неманских гидроузлов, нижнюю ступень которого должен был составить гидроузел у г. Советска, а выше Каунасского водохранилища планировалось сооружение гидроузлов у г. Бирштонаса и Друскининкай. Этот проект не был осуществлен, в том числе из-за постепенного свертывания крупного гидротехнического строительства в СССР. В настоящее время в Республике Беларусь на р. Неман планируется строительство двух ГЭС — Гродненской и Немновской.

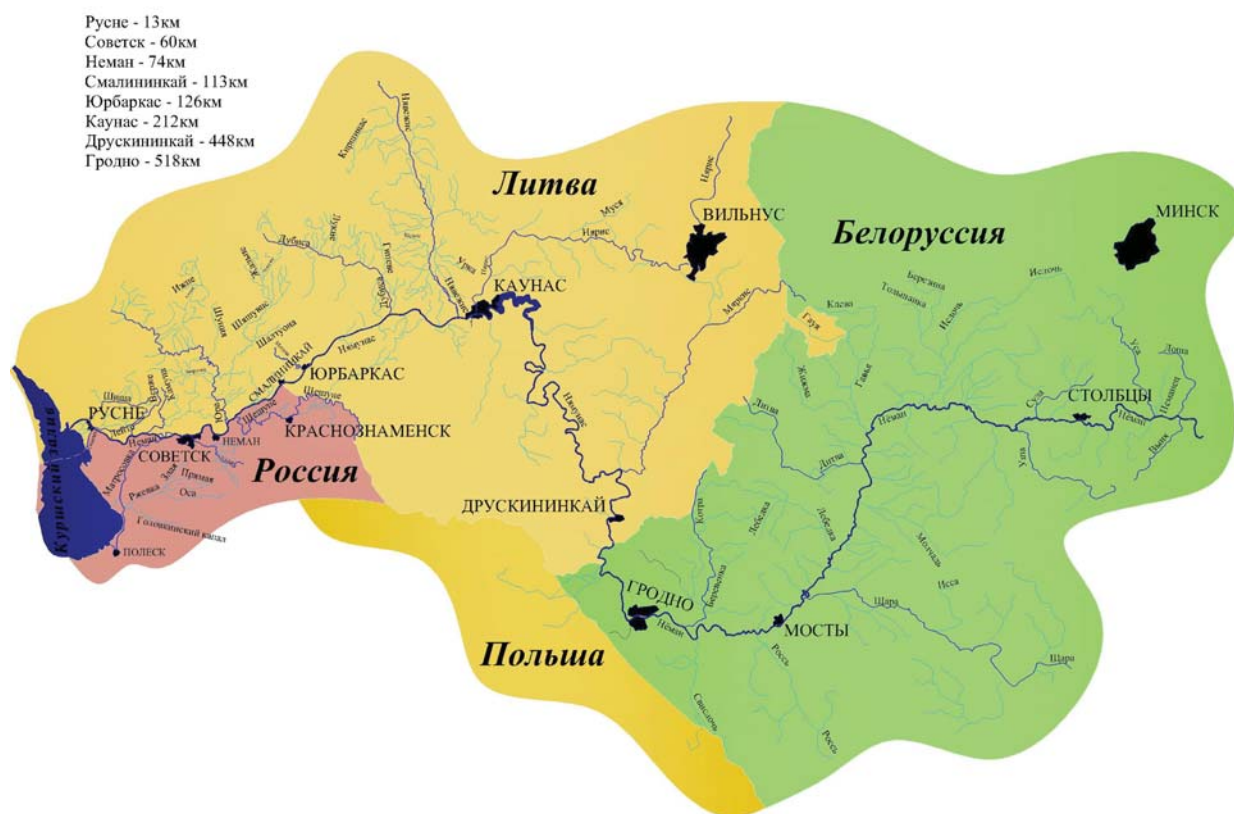


Рис. 1. Схема р. Неман

Наряду со строительством объектов гидроэнергетики в верхнем течении Немана (в Белоруссии) на состоянии реки в определенной мере сказалось проведение мелиоративных мероприятий в ее бассейне, главным образом выше устья р. Березины. Здесь было проведено искусственное спрямление реки и создана густая сеть осушительных каналов на пойме и прилегающей к ней территории. Благодаря этим мероприятиям увеличился сток воды в реку во время половодья и значительно возросла мутность воды. Эти изменения характеристик стока проявляются только в белорусской части реки, не достигая г. Гродно.

На Нижнем Немане (от впадения Няриса до устья) в прежние годы было построено много дамб обвалования. Они служат для предотвращения естественного выхода воды на пойму во время половодья, что позволяет осваивать пойменные земли для промышленного и гражданского строительства и сельскохозяйственного производства. Ниже г. Юрбаркаса дамбы работают в основном в польдерных (отгораживающих от моря) системах, регулируя поток во время паводков и половодий и нагонных явлений со стороны Куршского залива при сильных западных ветрах.

Из инженерных мероприятий, оказывающих непосредственное воздействие на русло реки, наибольшее значение на Немане имеет регулирование русла для нужд водного транспорта. С середины XIX в. на Немане стали систематически проводиться выправительные работы, заключающиеся преимущественно в возведении поперечных дамб-полузапруд, стесняющих поток. Таких сооружений было построено более 3 тыс., при этом в нижнем течении реки осуществлено практически сплошное выправление русла.

На Среднем и Верхнем Немане выправительные сооружения возводились на отдельных затруднительных для судоходства участках длиной от нескольких километров. В конце XX в. строительство выправительных сооружений продолжилось на Нижнем Немане и в районе Гродно. Конструкция полузапруд на р. Матросовка и Неман — это сооружения из грунта на хворостяном туюнке, крепление фашинно-кольевое, по гребню каменное крепление толщиной до 40 см. Длина

полузапруд от 30 до 180 м., ширина по гребню до 4 м. Год постройки полузапруд на р. Матросовка — 1924; на р. Неман — примерно 1937 г.

К настоящему времени в течение длительного срока эксплуатации значительная часть сооружений была разрушена. На сегодняшний день останки этих сооружений не в состоянии регулировать характеристики движения потока и транспорта наносов в соответствии со своим назначением, а по сути являются фоном, на котором происходит формирование современного русла. На этом фоне проявляются местные изменения русла, связанные с землечерпанием, а также с разработкой карьеров.

Интенсивная разработка карьеров на Немане началась с 1960-х гг., как, впрочем, и на многих других судоходных реках. Особенно велики их размеры ниже Гродно, где на коротком участке реки годовой объем добычи достигал 250 тыс. м³/год. При этом здесь разрабатывались коренные гравийно-галечные отложения, подстилающие русло реки. На Нижнем Немане наиболее крупные карьеры располагались ниже устья Нярис. Всего на Немане ежегодно добывалось около 1 млн м³ грунта.

Русловой режим Нижнего Немана

Направленность русловых процессов на Нижнем Немане в настоящее время определяется особенностями водного режима реки, обусловленного регулированием стока Каунасской ГЭС. Выше устья Щары Неман находится в основном в стадии динамического равновесия. Ниже по течению заметную роль в русловых процессах играет врезание реки, где равновесные участки чередуются с участками углубления долины врезающимся руслом. Для верхнего течения р. Неман (выше устья Березины) характерно преобладание продольно-поперечного смещения излучин. Для остальных участков широкопойменного извилистого русла характерны продольные смещения сегментных излучин. Спрямление русла происходит, когда излучины объединяются в большие меандры сложной формы, а также на крутых вынужденных излучинах. В нижнем течении русло врезанное, а горизонтальные деформации отсутствуют вследствие сплошного выправления русла реки.

В конце 1980-х гг. Р. С. Чалов и А. А. Дарбутас провели целый ряд специальных исследований, которые позволили оценить влияние Каунасской ГЭС на гидрологический и русловой режимы р. Неман. Полученные данные показали, что за 30 лет с начала эксплуатации гидроузла изменения гидравлических и морфометрических характеристик в нижнем бьефе оказались относительно небольшими по сравнению со многими другими аналогичными объектами на территории бывшего СССР. Снижение уровней воды ниже Каунасской ГЭС составило около 160 см, вызвав затруднения в работе водозаборов, необходимость укрепления бережных, опор мостов и других инженерных сооружений на берегах Немана.

В настоящее время этот процесс стабилизировался. При этом поток размыв мелкие грунты, а более крупные образовали отмостку, которая предохраняет дно реки от дальнейшего размыва. Кроме этого, в нижнем бьефе ГЭС была дополнительно осуществлена отсыпка крупнообломочного каменного материала с размерами обломков 10–20 см. Эти меры предотвратили дальнейшее развитие воронки размыва в непосредственной близости от створа плотины.

Ниже по течению процесс понижения дна реки также получил свое развитие на протяжении 15-километрового участка до створа впадения р. Нярис — крупнейшего притока Немана, примерно равного ему по водности и стоку наносов. Такие крупные притоки, по мнению Р. С. Чалова и А. А. Дарбутаса, являются своеобразными «базисами эрозии» для рек, препятствующими или нейтрализующими распространение эрозионных процессов вниз по течению основной реки. В первую очередь это касается размывов русла и связанных с ним уровней воды. В районе г/п Смалининкай произошло понижение отметок дна в пределах 2,5 м, однако снижение уровней составило всего около 35 см. Это связано с компенсирующим влиянием на уровни воды выправительных сооружений, обеспечивших двустороннее стеснение русла, сужение его в 2 раза и развитие подпорных явлений в потоке.

В целом, регулирование стока Каунасской ГЭС сказывается на гидрологическом режиме р. Неман на протяжении около 100 км выше гидроузла, а ниже его — вплоть до устья реки. В верхней части водохранилища образовалась зона переменного подпора длиной около 50 км. В этой области периоды затопления чередуются по времени с периодами осушения поймы. В летний период, в связи с малыми глубинами в водохранилище происходит интенсивное развитие сине-зеленых водорослей и другие неблагоприятные явления. В нижнем бьефе в результате регулирования стока Каунасским водохранилищем произошло незначительное уменьшение стока воды в половодье и повышение стока в межень, особенно зимой.

Второй аспект, определяющий специфику развития руслового режима р. Неман в ее нижнем течении, связан с работой руслорегулирующих выправительных сооружений. Благодаря строительству выправительных сооружений ширина русла Немана сократилась в среднем на 20–30 %. В результате была создана новая береговая линия, а междомбовые пространства заполнились наносами и заросли. В верхнем и среднем течении реки это привело к развитию процессов глубинной эрозии, а в нижнем, наоборот, к повышению отметок дна.

Третий аспект, определяющий влияние инженерной деятельности на русловой режим реки, связан с разработкой русловых карьеров. Наиболее существенно влияние карьеров сказалось на режиме реки в районе г. Гродно, где вследствие добычи речного аллювия уровень воды в реке понизился на 45 см (со скоростью 1–2 см/год).

На приплотинном участке Каунасской ГЭС подобные явления проявляются в сочетании с размывами в нижнем бьефе, влиянием дноуглубительных и русловыправительных работ, укреплением берегов реки набережными и причальными стенками, подмостовыми размывами у четырех мостовых переходов. Здесь, в районе Каунаса, через реку проложены многочисленные подводные коммуникации, осуществляется водозабор для промышленных и коммунальных нужд.

И наконец, определенное влияние на реку оказывают крупные промышленные и коммунальные водозаборы и водовыпуски. На Немане таковые находятся у г. Мосты, Гродно (в Белоруссии), Друскининкае, Алитусе, Каунасе, Юрбаркасе (в Литве), Советске (в России). В то же время на Немане нет безвозвратного водозабора. Поэтому его влияние незначительно и проявляется только на локальных участках.

Анализ судоходных условий на Нижнем Немане

Как транспортная артерия, р. Неман используется начиная с XIII в. До 1960-х гг. судоходство осуществлялось на всем протяжении Немана — от с. Новой Свержени (выше устья Березины) до впадения в Куршский залив. К концу 1970-х гг. по разным причинам оно было ограничено районом Гродно и нижним течением от Каунаса до устья. Местные перевозки на коротких участках сохранялись между устьем р. Щары и г. Мосты, в районе Друскининкай и от г. Алитуса до г. Каунаса, включая Каунасское водохранилище. При строительстве Каунасского гидроузла не были предусмотрены судопропускные сооружения (шлюзы), что явилось одной из основных причин резкого сокращения судоходства на реке и транзитных связей Верхнего Немана с морем.

В прежние годы на Немане проводились дноуглубительные работы на перекатах по всему судоходному участку реки. Объемы извлекаемого грунта составляли при этом в районе Гродно около 0,7 млн м³ в год. На Нижнем Немане они были значительно больше — до 1,5 млн м³ в год. В конце 1980-х гг. дноуглубление сохранялось только в нижнем течении реки и в районе г. Гродно. В настоящее время дноуглубительные работы выполняются на литовском участке реки — ниже г. Каунаса в незначительных объемах, около 0,04 млн м³ в год.

Анализ материалов натурных наблюдений, выполненных в навигацию 2011 г., показал, что к настоящему времени по сравнению с 1991 г. ситуация на исследуемом участке р. Неман существенно изменилась. За прошедшее время произошло общее повышение отметок дна в среднем на 0,2 м по всей длине реки от г. Смалнинкай до г. Русне, а на отдельных участках до 1,0 м и более. Уменьшилась разница в глубинах между перекатами и плесовыми лощинами. С момента начала

эксплуатации Каунасской ГЭС русло реки оказалось в значительной степени канализовано. Эти данные подтверждаются результатами статистической обработки массива глубин по судовому ходу, в ходе которой было получено распределение вероятности глубин по данным карты 1991 г. и материалам промеров глубин 2011 г. Для сопоставления оба массива данных были приведены к современному проектному уровню путевых работ. Совмещенные графики распределения вероятностей глубин показаны на рис. 2.

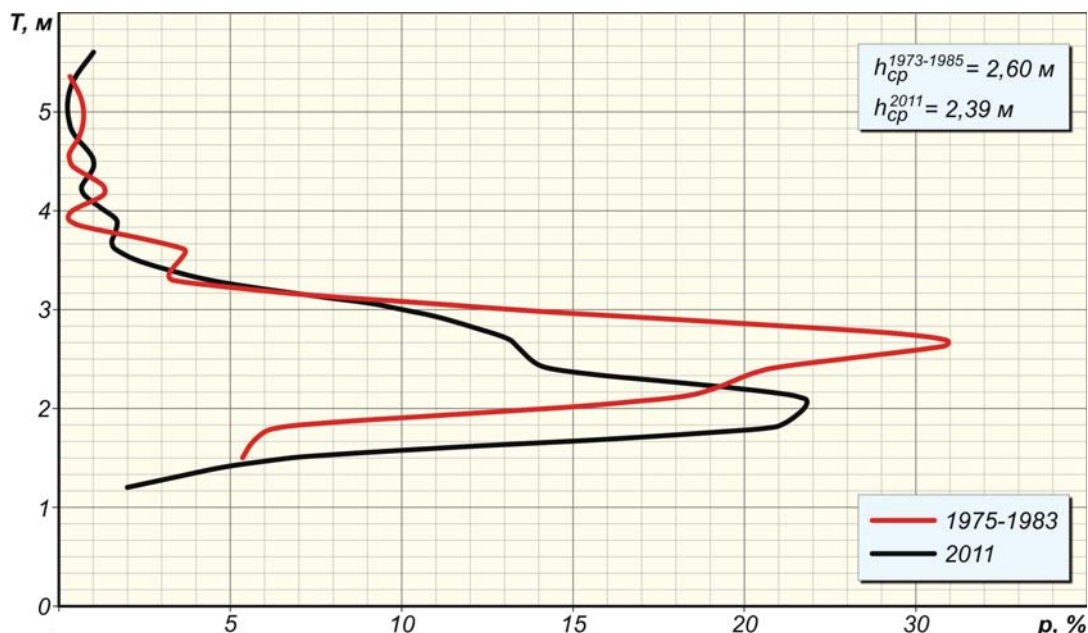


Рис. 2. Совмещенные графики распределения вероятностей глубин на судовом ходу

Анализ полученных материалов показывает, что за прошедшее время на Нижнем Немане существенно изменился ход графиков распределения вероятностей глубин. Так, по данным карты 1991 г., экстремум на графике отвечает глубине на судовом ходу, равной 2,7 м с вероятностью 26 %, что примерно соответствует средней глубине на судовом ходу. К настоящему времени экстремальное по повторяемости значение имеет глубина 2,1 м с вероятностью 22 %, что меньше средней глубины на судовом ходу, равной 2,39 м. Это свидетельствует об устойчивой тенденции повышения отметок дна и соответственно уменьшении судоходных глубин на исследуемом участке реки.

С гидравлической точки зрения под влиянием регулирования стока р. Неман, а также в результате воздействия на поток и русло сплошного выправления и антропогенных факторов на сегодняшний день утрачена естественная устойчивость руслового потока, которая характеризуется чередованием перекатов и плесовых ложин по длине реки. Отсутствие материалов наблюдений на вышерасположенных участках реки и боковых притоках затрудняет установление местоположения базисов эрозии, что, в свою очередь, обуславливает временные ограничения при прогнозировании ситуации в бассейне реки на перспективу. При этом использование геоморфологического подхода для прогноза русловых переформирований в этих условиях представляется затруднительным. В связи с этим вопрос обеспечения устойчивости судоходной трассы при увеличении гарантированной глубины на исследуемом участке также требует специального рассмотрения.

По данным промеров глубин, выполненных в навигацию 2011 г., установленная в настоящее время гарантированная глубина судового хода, равная 120 см, выдерживается при современных отметках проектного уровня путевых работ по всей длине судоходного участка без проведения землечерпательных работ. Наместились отдельные повышения проектного дна на судовом ходу на 24,0 и 107,5 км от устья реки высотой до 0,1 м, то есть в пределах точности промеров глубин. На этих участках в начале навигации 2012 г. необходимо выполнить контрольные русловые съемки.

В качестве промежуточного варианта увеличения судоходной глубины на Нижнем Немане в работе рассматривается значение гарантированной глубины, равной 150 см. Такая глубина подерживается на этом судоходном участке литовской стороной. В конце навигации 2011 г. на участке от г. Смалининкай до г. Русне при данной гарантированной глубине лимитирующими стали шесть перекатов и перекатных участков. Отдельные участки, например расположенные на 53,3 и 108,8 км от устья реки, представляют собой незначительные местные отложения наносов, которые произошли на судовом ходу за последнее время, и не являются морфологическими образованиями в русле реки. Остальные перекатные участки образовались в результате повышения отметок дна на гребнях существующих перекатов, которые в прежние годы не представляли затруднений для судоходства.

Для обеспечения гарантированной глубины, равной 150 см от существующего проектного уровня путевых работ, на судоходном участке необходимо разработать 10 дноуглубительных прорезей общей протяженностью ориентировочно 2,1 км с суммарным объемом извлекаемого грунта около 50,0 тыс. м³, включая объем технологического переуглубления.

При гарантированной глубине, равной 170 см, ситуация с обеспечением судоходных условий на данном участке становится значительно сложнее. Так, в силу особенностей морфологического строения русла количество затруднительных участков по длине реки значительно увеличивается по сравнению с предыдущим вариантом судоходной глубины. При этом из отдельных местных повышений отметок дна на судовом ходу образуются группы перекатных участков, на которых необходимо разработать 19 судоходных дноуглубительных прорезей на 8 перекатах и перекатных участках. Кроме того, для обеспечения безопасного судоходства необходимо разработать подрезки или перенести ось судового хода на 28 участках по длине реки в тех местах, где возможно обеспечение установленной гарантированной глубины за счет маневрирования знаками плавучей навигационной обстановки.

Для обеспечения судоходных глубин в этом случае необходимо разработать дноуглубительные прорези общей длиной ориентировочно 5,0 км с суммарным объемом первичного землечерпания около 120,0 тыс. м³. Дополнительно к этому необходимо осуществить также целый ряд подрезок по длине реки для обеспечения гарантированной ширины судового хода.

Наибольшее затруднение при обеспечении судоходных условий в данном случае будет заключаться в том, что места отложения наносов на судовом ходу в большинстве своем не приурочены к каким-либо морфологическим образованиям в русле реки и носят случайный характер. После выполнения дноуглубительных работ на этих участках реки отложение наносов может произойти в новую навигацию на других местах.

Полученные предварительные значения объемов дноуглубительных работ можно считать достаточно обоснованными, так как они были определены на основании обработки современных плановых материалов и отражают реальную ситуацию на судоходном участке реки. Для уточнения объемов дноуглубительных работ в начале новой навигации необходимо выполнить контрольные съемки на перекатных участках с высотной привязкой положения проектного уровня путевых работ по длине реки.

Другой, более сложный вопрос заключается в прогнозировании объемов повторного дноуглубления на Нижнем Немане с учетом специфики гидрологического режима реки и особенностей морфологического строения русла. Анализ материалов натурных наблюдений и результаты математического моделирования русловых переформирований на Нижнем Немане показывают, что на этом судоходном участке в последние годы сложилась устойчивая тенденция к аккумуляции наносов. Имеющихся исходных данных недостаточно для количественного прогноза развития этого процесса на обозримый период времени.

Решение данной задачи может быть получено в результате проведения исследования руслового режима р. Неман на протяжении от створа Каунасской ГЭС до устья реки за весь период эксплуатации гидроузла. При этом в ходе выполнения гидроморфологического анализа необходимо учесть влияние основных притоков Нижнего Немана в формировании твердого стока реки, а так-

же эффект от воздействия антропогенных факторов, связанных с извлечением донного аллювия за прошедший период времени. Это позволит получить обоснованные рекомендации по обеспечению судоходных условий на всем протяжении р. Неман.

Рекомендации по увеличению гарантированной глубины на р. Неман

Целью настоящей работы являлась проработка вопроса о возможности увеличения гарантированной глубины на р. Неман до 170 см для создания единого водного пути с выходом в Куршский залив. При этом имеется в виду, что интенсивность перевозок на транзите в перспективе будет возрастать. В случае развития данного сценария необходимо учесть следующие соображения по организации путевых работ на р. Неман.

Анализ материалов натурных наблюдений, выполненных в навигацию 2011 г. на судоходном участке р. Неман от г. Смалининкай до г. Русне показал, что существующая гарантированная глубина, равная 120 см от современного проектного уровня путевых работ, поддерживается на фарватере реки без проведения землечерпательных работ.

В качестве промежуточного варианта в работе рассматривалась возможность увеличения гарантированной глубины на судоходном участке до 150 см. В этом случае затруднения для судоходства будут представлять 6 перекатов и перекатных участков. Разработка такого количества перекатов на заданную гарантированную глубину с учетом технологического переуглубления не приведет к понижению уровня воды на вышерасположенных участках. Также нет оснований предполагать повышения интенсивности руслового процесса на перекатах после выполнения дноуглубительных работ на затруднительных для судоходства участках реки.

Наконец, третий вариант гарантированной глубины, установленный техническим заданием на выполнение работы, составляет 170 см. В этом случае по длине судоходного участка необходимо будет разработать значительное количество судоходных дноуглубительных прорезей и подрезок.

Другой вопрос, который необходимо учитывать при обеспечении судоходной глубины на этом участке, обусловлен общим ходом руслового процесса, а именно преобладающей в последние годы аккумуляцией наносов практически по всей длине судоходного участка на Нижнем Немане. В этом случае следует ожидать значительных темпов заносимости разрабатываемых на перекатах дноуглубительных прорезей. Одним из возможных путей снижения повторности дноуглубительных работ на исследуемом судоходном участке р. Неман следует считать восстановление работоспособности полузапруд на перекатных участках.

Таким образом, решение поставленной задачи рекомендуется проводить в два этапа.

На первом этапе предстоит достигнуть совместно с литовской стороной обеспечения на участке от г. Смалининкай до г. Русне гарантированной судоходной глубины, равной 150 см. В настоящее время такое значение гарантированной глубины декларируется Министерством транспорта и коммуникаций Литовской Республики. Обеспечение этой глубины на судоходном участке требует проведения ежегодных дноуглубительных работ.

На втором этапе, если в таком решении есть реальная заинтересованность отечественных и зарубежных судоходных компаний, необходимо совместно с литовской стороной выполнить изыскания и разработать проектно-сметную документацию для обеспечения гарантированной судоходной глубины на этом участке, равной 170 см. В этом проекте должен содержаться комплекс мер по обеспечению устойчивости судоходной трассы путем восстановления работоспособности системы выправительных сооружений.

Организационно-технические мероприятия по обеспечению судоходных условий на Нижнем Немане

Судоходный участок р. Неман от 13,0 до 113,0 км от устья реки является участком водного пути международного значения. Граница между Российской Федерацией и Литовской Республи-

кой на этом участке проходит по середине главного фарватера р. Неман. Порядок и организация судоходства на этом участке, а также правила и условия содержания и использования водного пути р. Неман определяются Соглашением между Правительством Российской Федерации и Правительством Литовской Республики о судоходстве по Куршскому заливу и водным путям в Калининградской области Российской Федерации и в Литовской Республике от 4 декабря 2007 г.

Программой гарантированных габаритов судовых ходов на навигационные периоды 2011–2013 гг. по Федеральному государственному учреждению «Волго-Балтийское государственное бассейновое управление водных путей и судоходства» на участке от пос. Пограничный (113,0 км) до начала протоки Северная (13,0 км) р. Неман установлена гарантированная глубина, равная 120 см от проектного уровня путевых работ. Гарантированная ширина судового хода составляет 20 м. Для навигационного обеспечения судоходства на этом участке российской стороной выставляется неосвещаемая судоходная плавучая обстановка по левой кромке судового хода. Литовской стороной на этом участке гарантируется судоходная глубина, равная 150 см, и выставляется освещаемая плавучая навигационная обстановка по правой кромке судового хода.

В соответствии с основными положениями классификации внутренних водных путей, регламентируемыми межгосударственным стандартом ГОСТ 26775-97 «Габариты подмостовые судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях», в современных условиях судоходный участок Нижнего Немана следует отнести к 5-му классу водных путей — водным путям местного значения. При увеличении гарантированной глубины на Немане до 1,5 м и более, данный участок водных путей может быть отнесен к 4-му классу водного пути — магистральным водным путям.

В соответствии с Европейским соглашением о важнейших внутренних водных путях международного значения (СМВП), подписанным в Женеве в 1996 г., р. Неман от устья до г. Каунаса отнесена к сети водных путей категории Е за номером Е41. Литовские речные порты Юрбаркас (126,0 км) и Каунас (219,0 км) на Немане включены в Перечень портов внутреннего плавания международного значения. Данным соглашением определены технические и эксплуатационные характеристики внутренних водных путей международного значения.

Учитывая, что российские нормы классификации водных путей не соответствуют применяемым международным стандартам, в частности европейским критериям классификации водных путей, применительно к данному участку водного пути этот вопрос необходимо урегулировать на межгосударственном уровне в рамках действующего Соглашения с Правительством Литовской Республики.

В соответствии с действующей «Инструкцией по содержанию навигационного оборудования внутренних судоходных путей», используемой при определении состава и назначения навигационных знаков, исследуемый участок р. Неман отвечает III группе водных путей — водным путям с гарантированными глубинами от 0,7 до 1,5 м, нерегулярными грузоперевозками и нерегулярным движением пассажирских судов. На водных путях данной группы содержатся несветящиеся знаки и знаки со светоотражающими покрытиями.

В соответствии с требованиями, установленными Европейским соглашением к эксплуатационным характеристикам водных путей категории Е, продолжительность работы шлюзов, разводных мостов и других объектов инфраструктуры должна быть такой, чтобы она обеспечивала в случае экономической целесообразности круглосуточное (24 часа) судоходство по рабочим дням. В отдельных случаях могут допускаться исключения по организационным и/или техническим причинам. Следует также обеспечить разумное судоходное время в праздничные и выходные дни.

Таким образом, вопрос содержания качества навигационного оборудования, ограждающего левую кромку судового хода (с российской стороны), также является предметом обсуждения на межгосударственном уровне, в рамках действующего Соглашения с Правительством Литовской Республики.

Установленные в настоящее время на судоходном участке Нижнего Немана отметки проектного уровня путевых работ имеют обеспеченность на гидрологических постах Смалининкай, Советск и Русне, отвечающую примерно 90 % по графикам обеспеченности многолетних навига-

ционных уровней воды. Эта величина соответствует требованиям действующей Инструкции по содержанию навигационного оборудования для III группы водных путей.

В качестве инфраструктурных ограничений судоходства на Нижнем Немане следует рассматривать железнодорожный (58,3 км) и автодорожный (59,8 км) мосты в г. Советске.

Неразводной железнодорожный мост имеет высоту судоходного пролета, равную 11,11 м от проектного уровня по гидрологическому посту Советск. Ширина судоходного пролета равна 70,0 м.

Разводной автодорожный мост — мост королевы Луизы имеет высоту судоходного пролета, равную 9,08 м от проектного уровня по гидрологическому посту Советск. Ширина судоходного пролета равна 48,5 м. Разводной механизм моста находится в нерабочем состоянии. Кроме этого, планируется построить автодорожный мост на 63,1 км от устья реки высотой 13 м от проектного уровня по посту Советск и шириной судоходного пролета, равной 60 м. Габаритные размеры проектируемого моста должны быть согласованы с ФГУ «Волго-Балтийское государственное бассейновое управление водных путей и судоходства».

Таким образом, анализ инфраструктурных ограничений судоходства на р. Неман показывает, что в современных условиях значения подмостовых габаритов у существующих мостов, пересекающих р. Неман, в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 26775-97 не отвечают 5-му классу водного пути.

Как показали результаты математического моделирования русловых переформирований на Нижнем Немане, при достижении судоходной гарантированной глубины, равной 170 см от современного проектного уровня путевых работ, на перекатных участках в силу особенностей морфологического строения и специфики руслового режима реки будут иметь место значительные объемы повторных дноуглубительных работ. При этом добиться повышения устойчивости судоходной трассы на Немане можно в результате восстановления системы выправительных сооружений. Учитывая, что этот вопрос затрагивает интересы Российской Федерации и Литовской Республики, дальнейшие предложения по этапам выполнения проектно-изыскательских и исследовательских работ в связи с этим необходимо разрабатывать совместно.

К числу первоочередных мероприятий, необходимых к выполнению в начале новой навигации, следует отнести выполнение работ по созданию высотной и плановой сети на левом (российском) берегу с выполнением однодневной связки уровней воды на участке исследований. На этой основе необходимо выполнить контрольные съемки на перекатах и перекатных участках для уточнения объемов путевых работ на очередную навигацию.

Представляется целесообразным обратиться в Федеральное агентство по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) с обоснованием необходимости модернизации гидрологического поста в г. Советск для обеспечения автоматизированного наблюдения за уровнями и расходами воды на р. Неман. Необходимо организовать на межгосударственном уровне регулярный обмен данными гидрометеорологических наблюдений на российских и литовских гидрологических постах.

Заключение

В настоящей работе на основе анализа данных многолетних систематических наблюдений на стационарных гидрологических постах в нижнем течении р. Неман, а также в результате обработки современных гидрографических материалов натурных наблюдений на судоходном участке Нижнего Немана от пос. Пограничный (113,0 км) до начала протоки Северная (13,0 км) с использованием аппарата математического моделирования исследовалась возможность реализации проектных рекомендаций по доведению гарантированной глубины на р. Неман до 170 см для создания единого водного пути с выходом в Куршский залив.

В работе был выполнен анализ материалов, характеризующих гидроморфологию бассейна в нижнем течении р. Неман. Дана общая физико-географическая характеристика р. Неман, изучены

климатическая и гидрометеорологическая характеристики бассейна. На основании статистической обработки материалов гидрометрических наблюдений на гидрологических постах, расположенных на судоходном участке р. Неман и ее главных притоках, были построены графики обеспеченности навигационных уровней и расходов воды за многолетний период и установлены их расчетные значения различной обеспеченности.

На основе результатов рекогносцировочного обследования судоходного участка р. Неман, выполненного в навигацию 2011 г., анализа отчетных материалов Волго-Балтийского ГБУВПиС и обзора имеющихся опубликованных данных в работе были изучены судоходные условия на р. Неман и выполнен анализ проводимых путевых работ в нижнем течении реки.

Начиная с середины XIX в. было выполнено сплошное выправление русла р. Неман системой полузапруд. К настоящему времени русловые выправительные сооружения в значительной степени разрушены, однако по-прежнему продолжают оказывать положительное влияние на уровеньный режим реки, характеристики течения и условия транспорта наносов на судоходном участке. Следует учитывать, однако, что при проектировании и строительстве выправительных сооружений в прежние годы не могло быть учтено последующее изменение характеристик стока реки, которое произошло в результате возведения Каунасской ГЭС. Поэтому в настоящее время эффективность работы этих сооружений по обеспечению устойчивости выправительной трассы для нужд судоходства является недостаточной.

Анализ гидрологического режима на исследуемом судоходном участке р. Неман показал, что после ввода в эксплуатацию Каунасской ГЭС уровеньный режим в нижнем течении реки от створа гидроузла до устья в значительной степени определяется влиянием регулирования стока. В разные фазы гидрологического цикла степень этого влияния различна. Кроме этого, в низовьях реки судоходный участок находится в зоне переменного подпора от уровней воды в Куршском заливе, граница распространения которого в отдельные периоды достигает истока рукава Матросовка, расположенного на 49 км от устья реки.

Специфика гидрологического режима Нижнего Немана обуславливает особый характер русловых переформирований на судоходном участке реки. Анализ материалов натурных наблюдений и результаты математического моделирования русловых переформирований показали, что на исследуемом участке в последние годы сложилась устойчивая тенденция к аккумуляции наносов.

Для оценки влияния проектируемых мероприятий по увеличению гарантированной глубины до 170 см на исследуемом участке р. Неман на гидрологический и русловой режимы реки в работе были выполнены расчеты отметок свободной поверхности, скоростей течения и начальных деформаций дна на перекатах при проектном уровне путевых работ для бытового (исходного) и проектного состояния русла р. Неман.

Математическое моделирование характеристик движения воды и транспорта наносов на судоходном участке р. Неман с целью разработки рекомендаций по доведению гарантированной судоходной глубины до 170 см было выполнено на основе решения двумерных уравнений Сен-Венана с применением оригинальных алгоритмов, реализованных на неструктурированных треугольных сетках. В качестве программного комплекса для выполнения гидравлических расчетов использовался программный продукт "RIVER", адаптированный в настоящей работе для учета реальной морфологии дна. Гидравлические расчеты выполнялись при заданных начальных и граничных условиях, полученных на основании статистической обработки материалов гидрометрических наблюдений на гидрологических постах.

Основной вывод, который можно сделать по результатам выполненных гидравлических расчетов, заключается в том, что выполнение дноуглубительных работ на участке р. Неман от пос. Пограничный до начала протоки Северная для достижения заданной гарантированной глубины при существующем проектном уровне путевых работ не приведет к дополнительному снижению уровней воды в створе гидрологического поста Смалининкай.

Таким образом, данный фактор не является ограничивающим при достижении проектируемой глубины на судоходном участке. Это позволяет рекомендовать проектные решения по выпол-

нению землечерпательных работ на затруднительных для судоходства участках к реализации без ущерба для состояния окружающей природной среды.

В этом случае основная проблема при обеспечении судоходных условий на данном участке будет заключаться не только в необходимости разработки большого количества дноуглубительных судоходных прорезей и подрезок по длине реки, но и в необходимости обеспечения их дальнейшей устойчивости. Как показал анализ русловых переформирований на перекатах и перекатных участках, выполненный на основании материалов натурных наблюдений и по результатам математического моделирования, основная тенденция, характеризующаяся преобладающим отложением наносов в русле реки, сохранится в дальнейшем, а местами даже усилится после выполнения дноуглубительных работ.

Так, в верхней части исследуемого участка, расположенной выше истока рукава Матросовка, наиболее значительные деформации русла будут происходить при уровнях, отвечающих руслоформирующему расходу воды. С дальнейшим спадом уровней воды, вплоть до проектного, интенсивность переформирований русла на этом участке будет затухать, за исключением перекатов и перекатных участков, где скорости течения будут достаточными для перемещения русловых наносов.

Ниже ответвления рукава Матросовка картина переформирований русла принципиально отличается от вышерасположенного участка. Основные деформации здесь будут возможны лишь при сочетании больших расходов воды в реке и низких уровней воды в заливе. Напротив, при установлении высоких уровней воды в заливе верхняя граница зоны выклинивания подпора распространяется вверх по реке, и скорости течения воды в зоне подпора становятся недостаточными для перемещения русловых наносов.

По результатам проведенного исследования в работе получены рекомендации по обеспечению судоходных условий на р. Неман с учетом возможного увеличения гарантированной глубины.

Список литературы

1. Чалов Р. С. Неман — река трансграничная / Р. С. Чалов, А. А. Дарбутас. — 2007.
2. Шныпаркова Ж. В. Факторы развития русловых процессов р. Неман в пределах Беларуси / Ж. В. Шныпаркова // Природные ресурсы: межвед. бюл. — 2006. — № 4. — С. 5–12.
3. Дарбутас А. А. Русловые процессы р. Немана (Нямунаса) и влияние на них антропогенного фактора: автореф. дис. ... канд. геогр. наук / А. А. Дарбутас. — М.: МГУ, 1992.
4. Дарбутас А. А. Гидролого-морфологическое обоснование выделения участков верхнего, среднего и нижнего течения реки (на примере Немана) / А. А. Дарбутас, Р. С. Чалов. — Новосибирск, 1994.
5. Пеньковская А. М. Река Неман / А. М. Пеньковская, Р. А. Юревич. — Минск, 1990.
6. Дарбутас А. А. Руслоформирующие расходы воды на реках Литвы и их связь с гидрологическим режимом / А. А. Дарбутас, З. В. Римкус, Р. С. Чалов // Эрозионные и русловые процессы / под ред. Р. С. Чалова. — М.: МГУ, 2005. — Вып. 4. — С. 274–286.
7. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. — Л.: Гидрометеиздат, 1986. — Т. 1: РСФСР. — Вып. 5: Бассейны рек Балтийского моря, Ладожского и Онежского озер.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. — Л.: Гидрометеиздат, 1963, 1969. — Т. 4: Прибалтийский район. — Вып. 3: Литовская ССР и Калининградская область РСФСР.
9. Соколов А. А. Гидрология поверхностных вод СССР / А. А. Соколов. — Л.: Гидрометеиздат, 1972.
10. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — Вып. 4: Бассейн рек Калининградской области.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЫТА Н. Б. ГОРОДЕНСКОГО
О ВИХРЕВЫХ ТЕЧЕНИЯХ В ШЛЮЗОВЫХ КАМЕРАХMATHEMATICAL MODELING OF N. B. GORODENSKIY EXPERIMENTS ABOUT
VORTEX FLOWS IN LOCK CHAMBERS

При исследовании выступа для отклонения потока в водопроводных галереях шлюзовых камер Городенский опытным путем построил кинематическую картину распределения скоростей. В рамках модели Лаврентьева и Шабата об отрывных течениях приводим математическую модель данного опыта.

In the study of the ledge to deflect the fluid flow in the galleries of lock chambers Gorodenskiy empirically constructed a kinematic picture of the distribution of velocities. In the framework of the Lavrent'ev and Shabat of separated flows give a mathematical model of this experience.

Ключевые слова: вихревое течение жидкости, течения с постоянной завихренностью, гармонические функции, задача Дирихле.

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

1. Введение

В настоящей работе исследуется и моделируется течение жидкости в водопроводных галереях шлюзовых камер. Водопроводные галереи являются одним из важнейших конструктивных элементов судоходного шлюза. В плане галереи имеют вид на рис. 1.

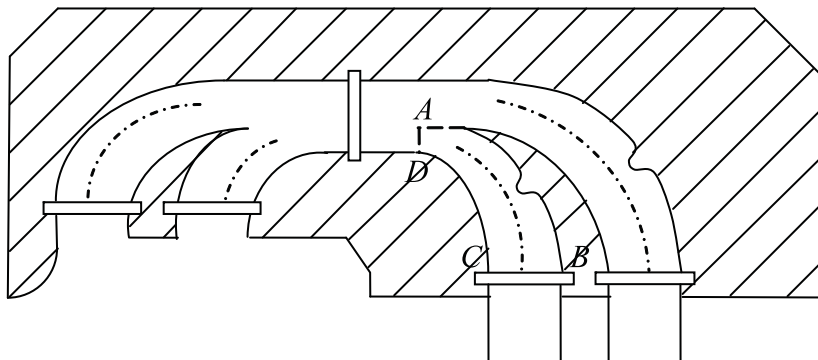


Рис. 1. Обводная галерея (в плане)

Расход жидкости через водопроводные галереи достигает во время наполнения значительных величин. При столь значительных массах жидкости, перемещающихся с большими скоростями, против выходных отверстий галерей в нижней голове неизбежно возникают волнения и вихри. Кроме того, неравномерно распределяющиеся скорости воды производят вредную работу по размыву бетонных конструкций головной части канала. Для достижения желательного распределения скоростей в выходных отверстиях Городенским [1; 2] (о чем автор узнал от профессора А. М. Гапеева) достаточно давно было предложено применить гасители скоростей в виде выступов, расположенных на вогнутой стороне вертикальной стенки галереи. Если отверстие галереи разветвляется на несколько каналов, то вышеуказанные отверстия предлагалось сделать на вогнутых сторонах каждого из каналов. При изучении предлагаемых гасителей были произведены

лабораторные исследования скоростей потока галерей как с гасителями, так и без них. Опыты показали, что применение гасителей дает достаточно равномерное распределение скоростей, причем абсолютные величины наибольших скоростей падают примерно в 2 раза. К сожалению, математического обоснования опыта Городенского не было предложено (хотя опыт реализован в конструкции шлюза Нижнесвирского гидроузла). Цель настоящей работы — устранить этот пробел: смоделировать и рассчитать распределение скоростей предложенного опыта. Второй и не менее важной задачей является возможность применения для расчетов методов теории движения идеальной жидкости.

В опыте Городенского была получена следующая картина течения в области $ABCD$ — горизонтальном разрезе галереи (рис. 2, 3). Наблюдаемые линии тока (обозначенные пунктирными линиями) показывают, что течение в данной области далеко от потенциального. В случае потенциального течения скорости на вогнутой стенке больше скоростей на выпуклой стенке канала. Здесь же мы видим обратную картину, такого типа течения носят вихревой характер. Кроме того, применение гасителя скоростей добавляет к общевихревому течению в канале еще одну область завихренности за выступом. Мы вынуждены для точного описания движения использовать модели с завихренностью, например в самой простой форме — модели с постоянной завихренностью. В [3] применение подобных моделей дает приличные результаты для выделения вихревых областей и для склеивания вихревых и потенциальных течений. В нашем случае важным является построение модели при движении по галерее на рис. 2, 3, так чтобы скорость на вогнутой границе была больше, чем на выпуклой при отсутствии выступа.

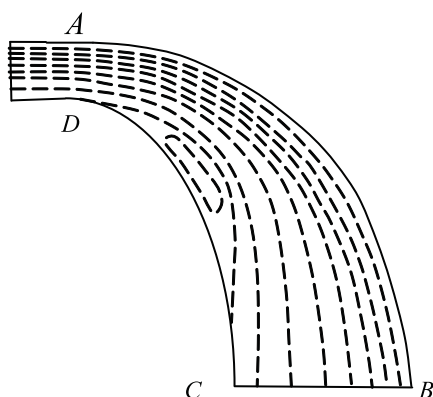


Рис. 2. Полученная в опыте картина течения в галерее без выступа

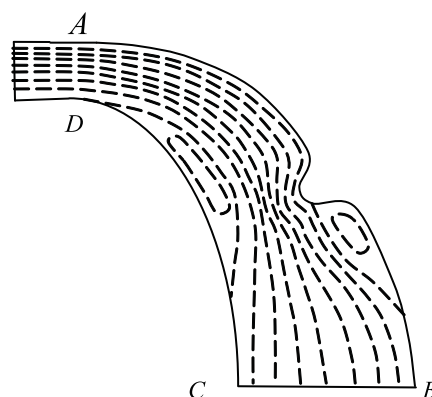


Рис. 3. Полученная в опыте картина течения в галерее с выступом

2. Моделирование по схеме Лаврентьева–Шабата

Рассмотрим модель водопроводной галереи, имеющую вид полукольца, представленный на рис. 4 (с выступом) или на рис. 5 (без выступа). Предполагаем, что течение жидкости в галерее без выступа, завихренное с постоянной завихренностью $-\omega_1$, $\omega_1 > 0$. Малый выступ приводит к искривлению границы камеры и поэтому течение в галерее на рис. 5 распадается на два независимых потока: 1) в области D_0 за выступом, ограниченной стенками камеры и струей γ , срывающейся с нижнего края выступа; 2) в области D_0 , дополняющей D_1 до всей камеры. Течение в D_1 предполагается вихревым с постоянной завихренностью $-\omega_1$, $\omega_1 > 0$, а в D_0 — вихревым с постоянной завихренностью ω_0 , $\omega_0 > 0$. Кривая γ не задается, ее надо подобрать так, чтобы она была линией тока и чтобы поле скоростей оставалось непрерывным всюду в камере. Тогда вместо обычных уравнений движения, приводящих к условию аналитичности, для координат вектора скорости V_x и V_y получим следующие уравнения в области D_0 :

$$\frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{\partial V_x}{\partial y} = \omega_0, \quad \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

и

$$\frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{\partial V_x}{\partial y} = -\omega_1, \quad \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

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 нелинейного уравнения Пуассона с разрывной правой частью

$$\Delta\psi = \begin{cases} -\omega_0, & \psi(z) > 1 \\ \omega_1, & \psi(z) < 1 \end{cases} \quad (3)$$

с заданными граничными условиями на стенках, а также на входе и выходе из камеры $\psi(x, y) = 0$ на внутренней стенке и $\psi(x, y) = 1$ (равна расходу жидкости) на внешней стенке, на входе галереи функция тока непрерывно изменяется от 0 до 1 по квадратичному закону. Тем самым скорости жидкости на внешней стенке больше, чем на внутренней. На выходе из галереи мы знаем лишь, что линии тока ортогональны линии выхода. Кроме того, имеем дополнительные условия: $\psi|_\gamma = 1$, так как кривая γ является линией тока. Таким образом, получаем обобщение известной задачи Гольдштика [5, с. 320–321; 6, с. 262–266].

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 бассейна 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 работах И. Вайнштейна [4], Д. Потапова [5] доказано, что задача Гольдштика (3) 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 представляет собой модификацию аппроксимации задач с разрывной нелинейностью задачами с непрерывной нелинейностью. Для прямоугольных камер с выступом в [7] численно найдена область отрывных течений.

3. Алгоритм решения

1. Как уже отмечалось, для областей общего вида нет возможности определить функцию Грина в явном виде. Более того, на границе области имеем граничные условия общего вида. Поэтому рассмотрим объемный потенциал (в нашем случае потенциал площади):

$$\psi_1 = \frac{1}{2\pi} \iint_{D_0} \ln \frac{1}{|\zeta - z|} dA(\zeta),$$

тогда гладкая функция ψ_1 является решением уравнения Пуассона всюду в камере (в объединении областей $D_1 \cup D_0$). Для нее выполняется

$$\Delta\psi_1 = \begin{cases} 0, & z \in D_1 \\ -1, & z \in D_0 \end{cases} \quad (4)$$

Естественно, нет соблюдения граничных условий. Для того чтобы удовлетворить граничным условиям, надо решить три задачи Дирихле:

1) $\Delta\psi_2 = 0$ в области $D = D_0 \cup D_1$ с граничными условиями $\psi_2|_\Gamma = -\psi_1|_\Gamma$ (напоминаем, что это граничные условия общего вида, на части границы заданы значения функции, а на остальной части — значения ее нормальной производной);

2) $\Delta\psi_3 = 0$ в области $D = D_0 \cup D_1$ с граничными условиями $\psi_3|_\Gamma = (-\psi_1 - (x^2 + y^2)/4)|_\Gamma$;

3) $\Delta\phi = 0$ в области $D = D_0 \cup D_1$ с граничными условиями $\phi|_\Gamma = \phi$.

В таком случае функция $\psi = \omega_0(\psi_1 + \psi_2) + \omega_1(\psi_1 + \psi_3 + (x^2 + y^2)/4) + \varphi$ является решением исходного уравнения Пуассона с заданными граничными условиями. Можно было решить всего одну задачу Дирихле, поставив соответствующие граничные условия, но решение в виде суммы трех функций предпочтительнее, так как теперь есть возможность корректировать величины завихренностей, которые изначально не известны и подбираются опытным путем. Наверное, имеет смысл исследовать зависимость величины завихренности за выступом от завихренности в основной части камеры.

2. Решение каждой из упомянутых задач Дирихле производится методом граничных интегральных уравнений. Ввиду смешанных граничных условий воспользуемся интегральным представлением для гармонических функций:

$$\psi_0(z) = \frac{1}{2\pi} \int \frac{\partial}{\partial \eta} \psi_0 \ln \frac{1}{|\zeta - z|} |d\zeta| - \frac{1}{2\pi} \int \psi_0 \frac{\partial}{\partial \eta} \ln \frac{1}{|\zeta - z|} |d\zeta|,$$

где $\frac{\partial}{\partial \eta}$ — дифференцирование по направлению внешней нормали, $z \in D$, $\zeta \in \Gamma$, а интегрирование совершается по границе Γ . Как известно, при предельном переходе при $z \rightarrow \Gamma$ для значений гармонической функции на границе имеем следующее представление:

$$\psi_0(z) = \frac{1}{2\pi} \int \frac{\partial}{\partial \eta} \psi_0 \ln \frac{1}{|\zeta - z|} |d\zeta| - \frac{1}{2\pi} \left(-\pi \psi_0(z) + \int \psi_0 \frac{\partial}{\partial \eta} \ln \frac{1}{|\zeta - z|} |d\zeta| \right), \quad (5)$$

для гладких частей границы $z, \zeta \in \Gamma$. Понятно, что испытываемый скачок имеет другой вид в угловых точках границы, а у нас такие точки есть. Тем не менее будем применять эту формулу, но следить за тем, чтобы узловые точки при численной интерполяции не совпадали с угловыми точками области. В правой части последней формулы стоит сингулярный интеграл, а в левой части — слабо сингулярный интеграл с логарифмической особенностью. Интерполирование интегрального уравнения (5):

$$\psi_0(z_j) = \frac{1}{2\pi} \sum_i \frac{\partial}{\partial \eta} \psi_0(z_i) \int_{\zeta_i}^{\zeta_{i+1}} \ln \frac{1}{|\zeta - z_j|} |d\zeta| - \frac{1}{2\pi} \left(-\pi \psi_0(z_j) + \sum_{i \neq j} \psi_0(z_i) \int_{\zeta_i}^{\zeta_{i+1}} \frac{\partial}{\partial \eta} \ln \frac{1}{|\zeta - z_j|} |d\zeta| \right)$$

приводит к линейной системе уравнений, которая решается в математическом пакете Maple.

3. На линии γ раздела вихревых течений с различными завихренностями построенная функция тока $\psi = \omega_0(\psi_1 + \psi_2) + \omega_1(\psi_1 + \psi_3 + (x^2 + y^2)/4) + \varphi$ должна быть равна 1. Это дает нам еще одно интегральное уравнение относительно неизвестной линии γ . Решение данной задачи находим методом итераций. Для этого вначале подберем новую завихренность ω таким образом, чтобы ψ как можно меньше отличалось от 1 на кривой γ (возможны варианты: в среднем или использовать максимальное отклонение). После выбора завихренности приступаем к исправлению кривой γ . Поскольку требуется найти линию единичного уровня, то для этого разбиваем кривую γ на участки. Если на данном участке функция $\psi - 1$ положительна, то уменьшаем область D_0 при помощи малой дуги, если меньше 0, то соответственно увеличиваем область D_0 при помощи малой дуги на этом участке.

После исправления кривой повторяем всю процедуру с построением оператора Грина.

4. Результаты вычислений

На рис. 4, 5 изображены построенные области отрывных течений в камере с выступом и без выступа. Поскольку кривая γ должна быть линией единичного уровня функции тока, то критерием остановки служит равенство функции тока единице с точностью до $\varepsilon = 0,01$. Начальная линия γ — это дуга окружности, соединяющая нижнюю точку выступа с верхней точкой стенки камеры. На всех рисунках $\psi = 0$ на нижней стенке камеры и $\psi = 1$ (расходу жидкости) на верхней стенке. Функция тока на входе изменяется по формуле $\psi = (r-1)^2 / (e-1)^2$. Последнее обеспечивает то, что на входе в камеру скорости у внешней стенки больше, чем на внутренней. Дополнительно

указаны некоторые линии тока. На рис. 5 течение жидкости состоит из двух зон с различными завихренностями. Внутри отрывной области дополнительно построена линия тока. Кинематическая картина, полученная в результате расчетов, полностью соответствует опытным измерениям на рис. 2, 3. Кроме того, наличие гасителя скоростей, представленного на рис. 5 в виде выступа, сдвигает области противотока по направлению основного течения камеры. Поэтому на выходе, который соответствует оси камеры, нет области противотока.

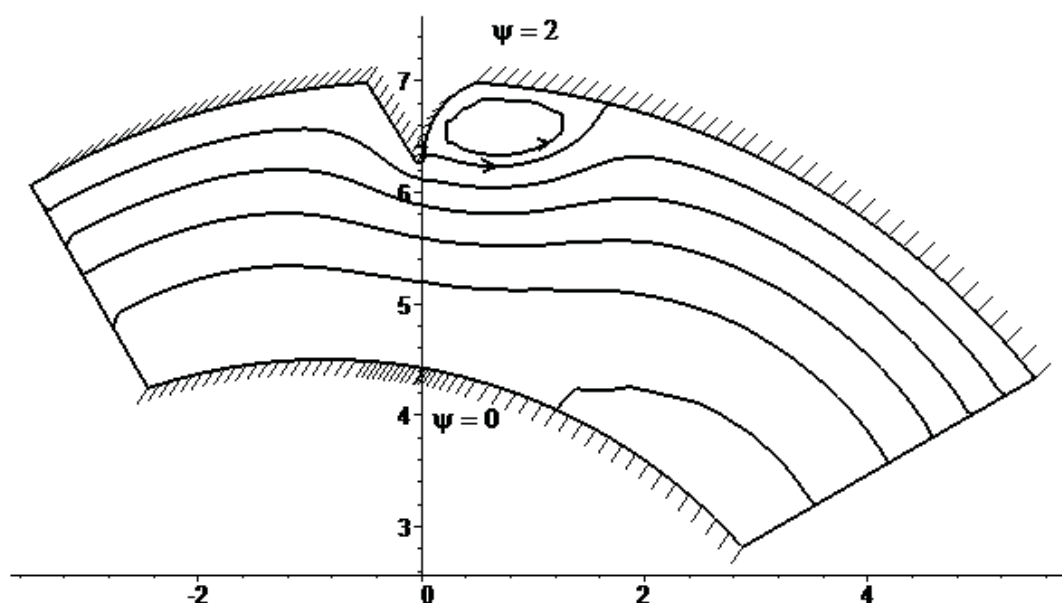


Рис. 4. $\omega_0 = 5.95$, $\omega_1 = 1.1$

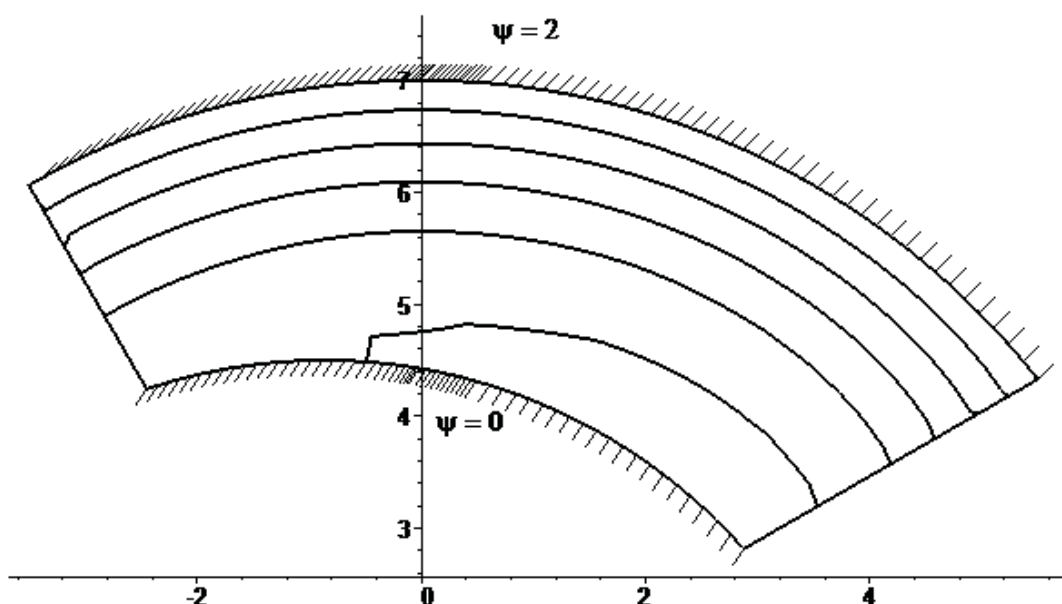


Рис. 5. $\omega_1 = 1.1$

На рис. 6, 7 приведены эпюры скоростей при разрезе камеры по прямой $y = 2x$ (данный разрез находится после области отрывного течения и соответствует реальному выходу из камеры). Видим, что скорости в камере без выступа увеличиваются от выпуклой стенки к вогнутой. Наличие выступа позволяет погасить вредные скорости на этом разрезе. На обеих стенках скорости мень-

ше, чем по оси потока. Наибольшие абсолютные скорости также существенно меньше, примерно в 1,5 раза. Кроме того, область противотока сдвигается, так что если реальный выход из камеры находится в районе прямой $y = 2x$, то в камере отсутствуют области противотока, вызванные исходным вихревым течением. Расчеты опять соответствуют опытным данным Городенского.

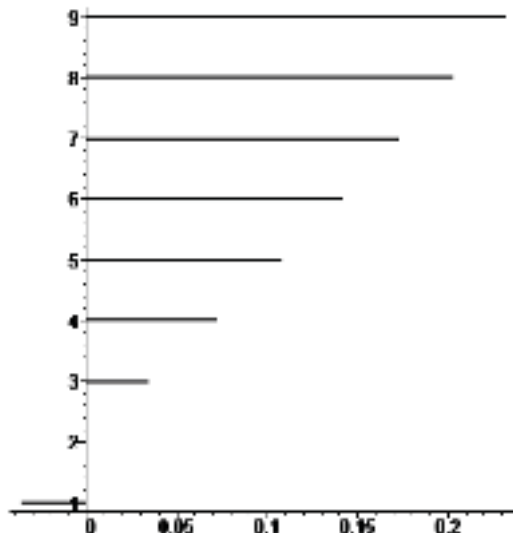


Рис. 6

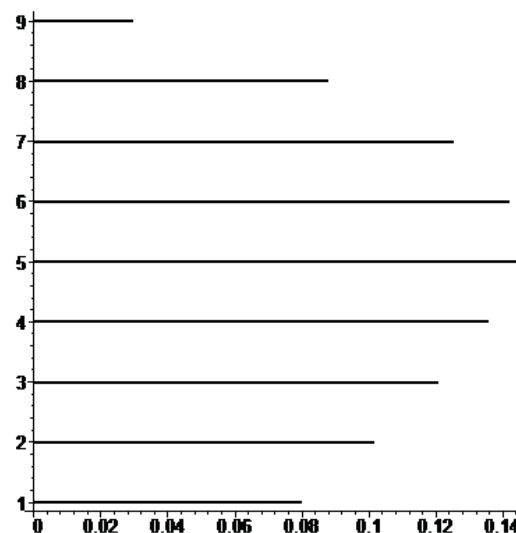


Рис. 7

Список литературы

1. *Городенский Н. Б.* Проектирование головных систем питания судоходных шлюзов на основе опыта гидравлических исследований: дис. ... канд. техн. наук / Н. Б. Городенский. — Л., 1954.
2. А. с. 36916. Гаситель вредных скоростей воды в выходных галереях судоходных шлюзов / Н. Б. Городенский, Г. В. Эндер; Оpubл. 31.05.1934.
3. *Лаврентьев М. А.* Проблемы гидродинамики и их математические модели / М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат. — М.: Наука: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977. — 416 с.
4. *Гольдштик М. А.* Вихревые потоки / М. А. Гольдштик. — Новосибирск: Наука: Сиб. отделение, 1981.
5. *Вайнштейн И. И.* Решение двух дуальных задач о склейке вихревых и потенциальных течений вариационным методом М. А. Гольдштика / И. И. Вайнштейн // Журнал Сибирского федерального ун-та. Сер. «Математика и физика». — 2011. — № 4 (3).
6. *Потапов Д. К.* Непрерывные аппроксимации задачи Гольдштика / Д. К. Потапов // Математические заметки. — 2010. — Т. 87, вып. 2.
7. *Васин А. В.* Определение линии раздела областей с потенциальным и вихревым течением / А. В. Васин, О. А. Тимофеева // Журнал университета водных коммуникаций. — 2012. — Вып. 2 (14).

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА

УДК 629.12.011.5:628.517.2

Г. Д. Иzaak,
д-р техн. наук,
ООО «Научнойз»
(Санкт-Петербург);

А. А. Поляков,
канд. техн. наук, доцент,
СПГУВК

ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМА И ВИБРАЦИИ В ПОМЕЩЕНИЯХ ПАССАЖИРСКОГО ТЕПЛОХОДА

NOISE AND VIBRATION STUDY IN PREMISES OF A PASSENGER MOTOR SHIP

*Статья посвящена проблеме снижения шума и вибрации пассажирского теплохода.
An article is devoted to the problem of reducing the noise and vibration of passenger ship.*

*Ключевые слова: методы защиты от шума, виброизоляция, вибропоглощение.
Key words: methods of protection against noise, vibration isolation, vibration absorption.*

РАЗЪЕЗДНОЕ пассажирское судно «Нева» проекта PV02 построено на Невском судостроительном заводе. Во время навигации 2010–2011 гг. было установлено, что шум в жилых и служебных помещениях теплохода мешает жизнедеятельности пассажиров и команды. Осенью 2011 г. было произведено детальное исследование шумовых характеристик наиболее проблемных помещений теплохода.

Установлено, что источниками шума и вибрации являются два чиллера фирмы “Daikin”, установленные в машинном отделении на четырех виброизоляторах АКСС40М и закрепленные к переборке 39-го шт. С помощью шумомера-анализатора спектра «ОКТАВА-110А» с опцией виброметр были произведены замеры шума и вибрации в помещениях теплохода.

Точки измерений шума указаны на рис. 1, результаты измерений — в табл. 1. Там же приведены требования санитарных норм согласно санитарным правилам и нормам СанПиН 2.5.2-703-98 для судов внутреннего и смешанного плавания.

Таблица 1

Уровни звукового давления в помещениях

Наименование	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц									Уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Машинное отделение										
1. На расстоянии 1 м от чиллера	56	99	62	72	70	58	57	56	52	72
Санитарная норма ПС 105	115	115	114	111	108	105	103	101	99	110
Сауна										
2. Комната отдыха. 2.1. Дверь в моечную закрыта. 2.2. Дверь в моечную открыта										
	46	68	56	45	42	38	34	31	30	46
	47	77	58	47	46	42	38	33	34	50

Таблица 1
(Продолжение)

3. Моечная (двери в душевые кабины открыты)	60	106	64	45	43	41	37	33	33	76
4. Душевая кабина (дверь в моечную закрыта)	65	111	69	50	48	46	42	38	38	81
5. Сауна (дверь в моечную открыта)	55	91	50	41	41	40	37	32	31	61
6. Салон	59	83	53	45	40	39	35	31	30	53
Санитарная норма для общественных помещений ПС 55	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60

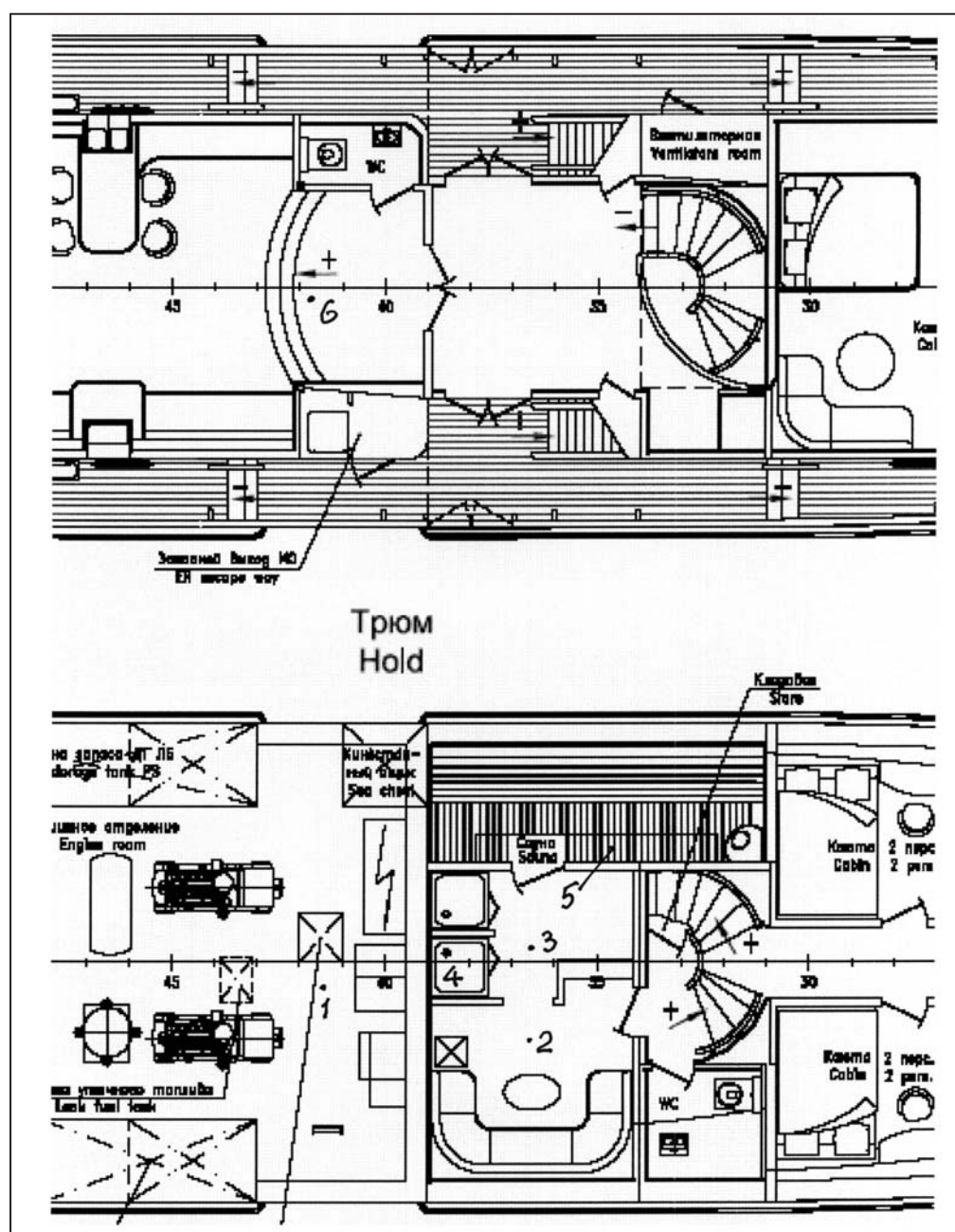


Рис. 1. Схема точек измерения шума

В результате анализа уровней шума установлено, что характер шума, создаваемый чиллером, — тональный, с максимумом излучения на частоте 50 Гц (октавная полоса 63 Гц). Во всех помещениях сауны имеют место стоячие волны, при этом уровни звукового давления на частоте 50 Гц в различных зонах помещений могут отличаться на величину до $\pm 5 \dots 8$ дБА от среднего значения, приведенного в табл. 1.

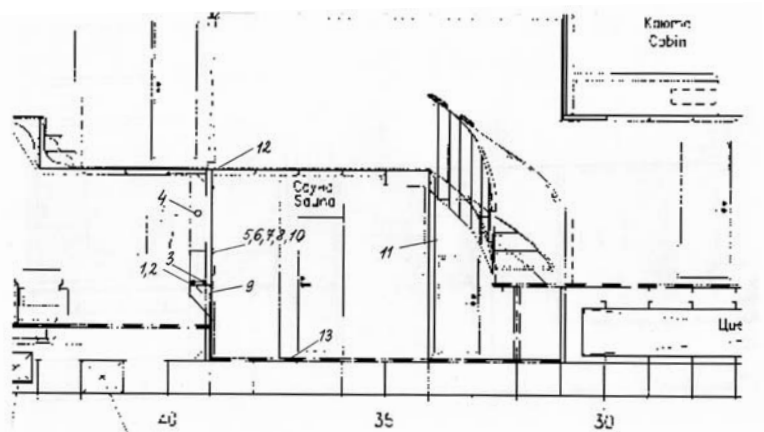
Уровни звукового давления в моечной при открытых дверях душевых кабин превышают требования санитарных норм в октавной полосе частот 63 Гц на 27 дБ.

В душевой кабине при закрытой двери уровни звукового давления в октавной полосе частот 63 Гц превышают требования санитарных норм на 32 дБ.

Уровни звукового давления в сауне превышают требования санитарных норм в октавной полосе частот 63 Гц на 12 дБ.

Кроме шумовых характеристик, были измерены виброускорения относительного порогового значения $3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$. Точки измерений вибраций указаны на рис. 2. Результаты измерений виброускорений приведены в табл. 2.

а



б

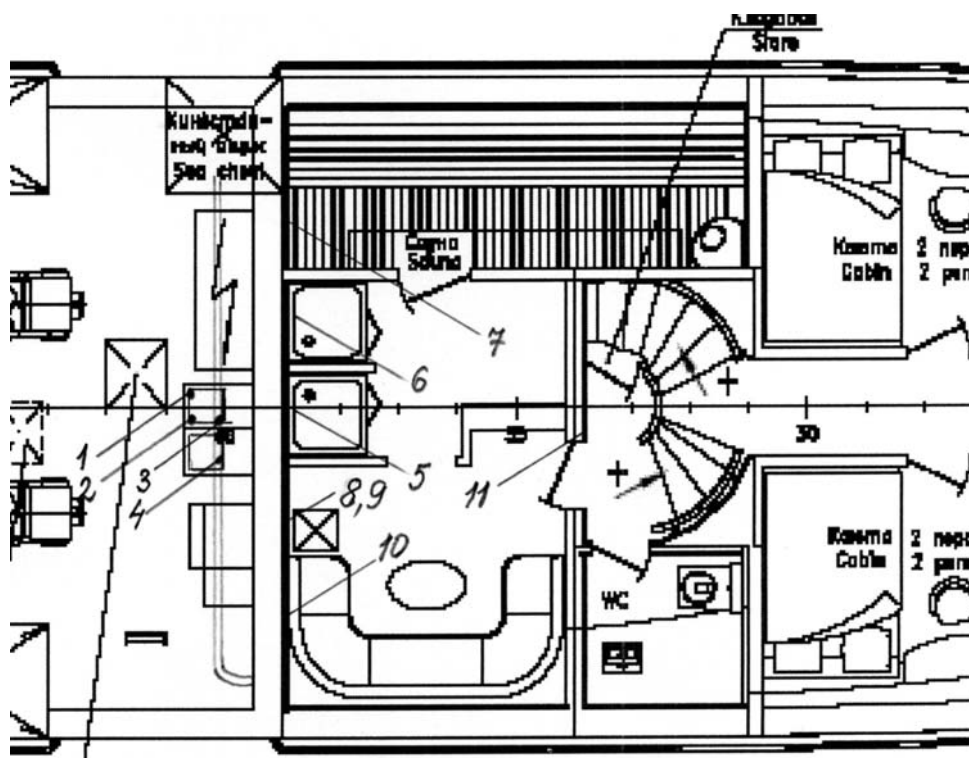


Рис. 2. Схема точек измерения вибрации

Таблица 2

Уровни виброускорения в точках измерения

№ п/п	Наименование	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Машинное отделение										
1	На лапе чиллера над виброизолятором	44	80	69	70	74	68	60	74	54
1'	На раме чиллера под виброизолятором	40	76	62	52	52	48	47	51	37
2	На лапе чиллера над виброизолятором	46	74	63	66	71	66	56	68	53
2'	На раме чиллера под виброизолятором	38	72	60	50	55	47	45	51	43
3	На лапе чиллера над виброизолятором	43	81	65	64	72	66	58	69	59
3'	На раме чиллера под виброизолятором	33	68	64	57	64	57	54	46	42
C1	Среднее на лапе чиллера над виброизолятором (1, 2, 3)	44	78	66	67	72	67	58	70	56
C2	Среднее на раме чиллера под виброизолятором (1', 2', 3')	37	72	62	53	57	51	49	49	41
3	Эффективность виброизоляции (C1)–(C2)	7	6	4	14	15	16	9	21	15
4	На трубе водоснабжения	38	75	52	49	51	58	70	62	42
Помещения сауны										
5	Стена в душевой кабине по ДП	44	88	52	40	35	35	33	29	26
6	Стена в душевой кабине По ПБ По ЛБ									
6.1		31	73	42	35	38	34	33	35	30
6.2		36	74	52	41	33	35	32	34	27
7	Стена в комнате отдыха	38	72	51	40	38	36	23	23	26
8	Стена в комнате отдыха	33	69	47	41	39	51	24	24	26
9	Стена в комнате отдыха	36	76	43	41	42	39	25	24	26
10	Стена в сауне	35	73	41	35	35	30	23	23	26
11	Стена на входе в сауну	39	75	39	48	54	53	45	32	27
12	Палуба в салоне над носовой переборкой МО	39	69	46	41	34	37	40	27	21
13	Палуба в моечной перед душевыми кабинами	34	56	43	37	40	40	39	35	21
14	Санитарная норма для общественных помещений	65	62	—	—	—	—	—	—	—

В результате анализа уровней виброускорений установлено, что характер звуковой вибрации, создаваемой чиллером, — тональный, с максимумом излучения на частоте 50 Гц (октавная полоса 63 Гц). Во всех точках измерения уровни виброускорения в октавной полосе 63 Гц превышают уровни в соседних полосах на величину 13 дБ и более.

В машинном отделении на оборудовании и трубопроводах, связанных жесткими связями с переборкой 39-го шп. или с трубопроводами системы охлаждения, отмечаются высокие уровни виброускорения в октавной полосе 63 Гц.

Акустическая эффективность виброизоляции чиллеров на частоте 63 Гц низкая и лежит в пределах 2...9 дБ.

В помещениях сауны и в салоне над ней на ограждениях и палубах отмечаются высокие уровни виброускорения в октавной полосе 63 Гц по отношению к уровням в соседних октавных полосах частот.

Уровни виброускорения в октавных полосах 31,5 и 63 Гц на палубе в моечной не превышают требований санитарных норм вибрации для общественных помещений судов группы I. Уровни виброускорения в октавной полосе 63 Гц на палубе в салоне превышают требования санитарных норм вибрации на 7 дБ.

Интенсивные уровни звукового давления в сауне на частоте 50 Гц являются следствием резонансных колебаний переборки 39 шп. и зашивки сауны, то есть совпадения частот свободных колебаний элементов системы «фундамент–переборка–зашивка» с частотой возбуждающей силы, генерируемой чиллером.

С целью определения частот свободных колебаний элементов были проведены дополнительные инструментальные измерения.

В процессе исследования определялись частоты свободных колебаний элементов крепления чиллеров к переборке 39-го шп. и зашивки помещений сауны. Вибрацию возбуждали ударом по конструкции и работой чиллеров с последующим отключением.

Измерения собственных частот колебаний судовых конструкций выполнялись цифровым виброметром с датчиком виброускорения и записывались в цифровое запоминающее устройство. Динамический диапазон измерений и записей — 80 дБ, частотный диапазон — 30...1000 Гц.

При узкополосном частотном анализе записей использовалась программа для работы со звуком «Кул эдит про». Записи обрабатывались цифровым фильтром нижних частот с полосой пропускания 30–60 Гц и выводились на экран программного осциллографа в удобном временном масштабе. Пример виброграммы затухающих колебаний зашивки в комнате отдыха приведен на рис. 3.

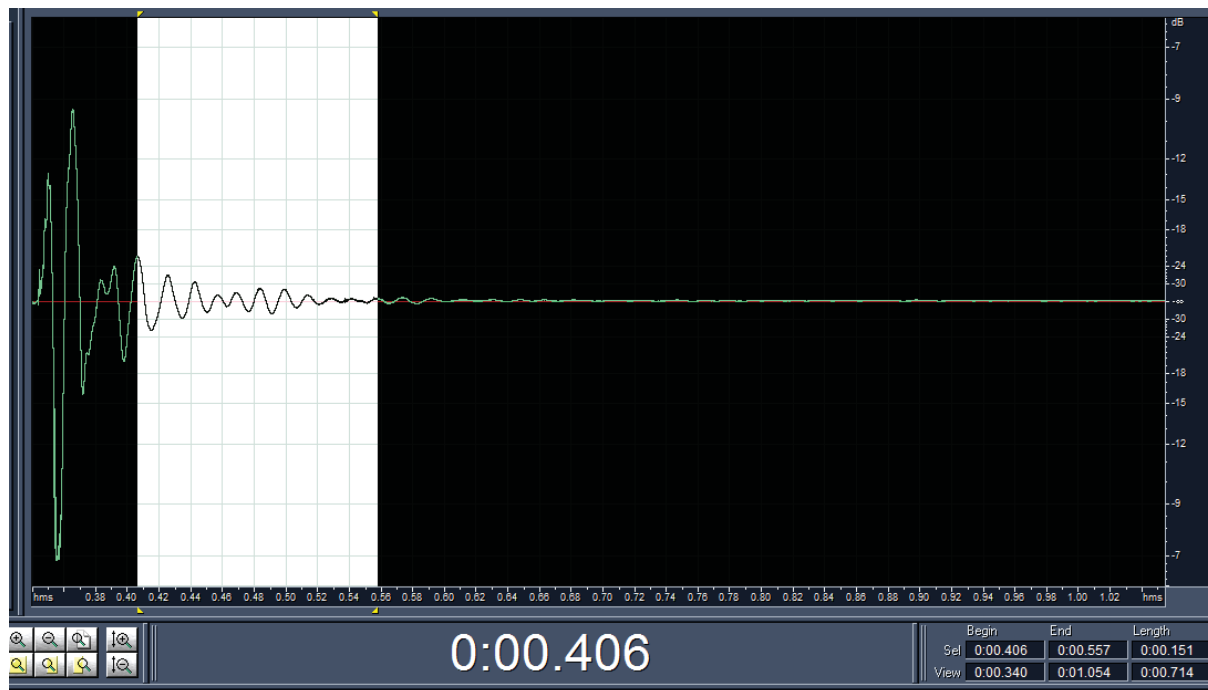


Рис. 3. Виброграмма затухающих колебаний зашивки.
Без фильтра. Усиление 6 дБ

На осциллограммах видны колебания практически одной частоты, которая в данной точке является частотой собственных колебаний. Длительность периода колебаний, а следовательно, и

частота колебаний определяются по оси времени на экране. Частоты свободных колебаний определяли по количеству амплитудных пиков в единицу времени. Точки и результаты измерений частот свободных колебаний представлены в табл. 3.

Таблица 3

Частоты свободных колебаний в точках измерения

Номер записи	Точка измерения вибрации	Частота, Гц
1	2	3
3	Рама под амортизатором. Верт.	60,0
4	Рама под амортизатором. Верт.	57,0
5	Рама под установочной плитой чиллера	33,0 и 60,0
6	Рама под установочной плитой чиллера	33,0 и 60,0
7	Кница под установочной плитой чиллера спереди	57,0
8	Кница под установочной плитой чиллера у переборки	48,0
9	Труба пожарного водопровода над чиллерами	53,0
10	Зашивка в душевой кабине	53,0
11	Кран в душевой кабине, сауна	53,0
12	Зашивка в комнате отдыха	53,5
13	Пластика переборки МО под чиллером	53,3
14	Ребро переборки МО под чиллером	56,0
15	Труба воды от чиллера	53,0
16	Под правым амортизатором чиллера	58,0
17	Фреоновая трубка чиллера	55,0

Частоты свободных колебаний практически всех элементов конструкций, связанных с переборкой 39-го шп., лежат в пределах от 48 до 60 Гц и близки к частоте возмущающей силы, генерируемой чиллером 50 Гц.

На всех виброграммах просматриваются первые гармоники собственных колебаний 30 Гц. Они затухают медленнее, чем колебания на частоте 50 Гц, и поэтому четко видны в конце виброграмм. Однако амплитуда их колебаний мала и не они создают повышенный шум в сауне. Причиной повышенного шума в сауне в октавной полосе 63 Гц являются:

- интенсивная вибрация чиллера на частоте 50 Гц;
- низкая виброизоляция амортизирующего крепления чиллеров на базе виброизоляторов АКСС 40 М;
- крепление чиллеров непосредственно к переборке 39-го шп.;
- частоты свободных колебаний элементов переборки 39-го шп., близкие к частоте основной вибрации чиллера, особенно зашивки сауны;
- отсутствие компенсирующих гибких вставок в трубопроводах, подходящих к чиллерам, и жесткое их крепление к корпусным конструкциям и соседним трубопроводам других систем.

Рекомендации по снижению шума

1. Изменение конструкции фундамента под чиллеры

Фундамент под чиллеры следует оторвать от переборки 39-го шп. и опереть на рамные связи днища. Основным требованием к опорам фундамента является высокая жесткость опор, обеспечи-

вающая частоты свободных колебаний опор в горизонтальной плоскости, превышающих частоты возмущающих сил не менее чем в 2 раза, то есть более 100 Гц. Для этого рекомендуется опереть фундамент чиллеров на четыре опоры из швеллеров № 22. К рамным конструкциям днища опоры должны быть присоединены кницами размером 150×150 мм.

2. Виброизоляция чиллеров

Частота свободных вертикальных колебаний чиллера на виброизоляторах АКСС40М составляет 33 Гц. Определенное экспериментально снижение уровней виброускорений в октавной полосе 63 Гц на каждой лапе чиллера составляет не более 9 дБ, что недостаточно. Рекомендуется каждый чиллер установить на четырех виброизоляторах фирмы “GERB” типа S1-13 с вертикальной жесткостью, равной 29 кН/м. Частота свободных колебаний чиллера составляет 4,41 Гц. Акустическая эффективность установки в октавной после 63 Гц составляет 16 дБ.

3. Гибкие вставки и крепление трубопроводов

Все трубопроводы, присоединенные к чиллерам, должны иметь гибкие вставки, например резиновый антивибрационный компенсатор типа FC6 Ду 1/2”-2” Ру 10 или других типов. Трубопроводы малых диаметров должны иметь участок, выполненный в виде змеевика.

Трубопроводы и теплообменники, отходящие от чиллеров, следует крепить к палубе, крепление к переборке 39-го шп. не допускается. Подвеску следует производить с помощью хомутов с прокладкой из губчатой резины толщиной 10 мм.

4. Увеличение звукоизоляции переборки 39-го шп.

Для снижения воздушного шума, проникающего в душевую кабину и комнату отдыха из машинного отделения, на переборку необходимо установить:

- вибродемпфирующую мастику АДЕМ толщиной 24 мм;
- под метлахскую плитку и декоративную зашивку комнаты отдыха установить «утяжеленную зашивку» из доски толщиной 40 мм;
- «утяжеленную зашивку» крепить к брускам через прокладки из рифленой резины толщиной 5 мм.

Выводы

1. Повышенный шум в помещениях сауны при работе чиллеров имеет место только в октавной полосе частот 63 Гц. В остальных октавных полосах он значительно ниже требований, предъявляемых санитарными нормами к служебным помещениям. Акустическая эффективность рекомендуемых средств снижения шума в октавной полосе частот 63 Гц указана в табл. 4.

Таблица 4

Акустическая эффективность рекомендуемых средств снижения шума

Средство снижения шума	Снижение шума в октавной полосе частот 63 Гц, дБ
1. Крепление чиллеров на днищевое перекрытие	7
2. Установка чиллеров на виброизоляторах фирмы “GERB” типа S1-13	16
3. Нанесение на переборку мастики АДЕМ толщиной 24 мм	4
4. Установка «утяжеленной зашивки» в сауне	2
5. Крепление зашивки через прокладки из рифленой резины	2

Суммарная акустическая эффективность средств снижения шума составляет 31 дБ. Установка всех средств снижения шума обеспечит выполнение норм шума для служебных помещений от работы чиллеров во всех помещениях сауны.

2. Увеличение звукоизоляции переборки 39-го шп. позволит также снизить шум в сауне от работы главных двигателей и дизель-генераторов.

Указанные мероприятия были проведены на теплоходе «Нева» пр. РВ02. Замеры показали, что уровень шума в помещениях сауны и комнаты отдыха в октавной полосе частот 63 Гц не превышает санитарные нормы.

Список литературы

1. Беляковский Н. Г. Конструктивная амортизация механизмов, приборов и аппаратуры на судах / Н. Г. Беляковский. — Л.: Судостроение, 1965.
2. Изак Г. Д. Шум на судах и методы его уменьшения / Г. Д. Изак, Э. А. Гомзиков. — М.: Транспорт, 1987.
3. Санитарные нормы и правила. Водный транспорт. СанПин 2.5.2-703-98. — 2007.

УДК 623.592:519.718

А. А. Боран-Кешишьян,
канд. техн. наук, доцент,
ФБГОУ ВПО «Государственный морской
университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова»;

С. И. Кондратьев,
д-р техн. наук, профессор,
ФБГОУ ВПО «Государственный морской
университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова»

ИССЛЕДОВАНИЕ НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА ТРЕНАЖЕРНО-ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

DETERMINATION OF TIME TO FAILURE OF SIMULATION TRAINING SYSTEM

В статье определены общие соотношения для расчета интервальных времен до отказа тренажерно-обучающей системы, состоящей из зависимых по надежности элементов.

The article defines the overall ratios for calculation the interval time to failure of simulation training system consisting of a reliability dependent elements.

Ключевые слова: тренажерно-обучающие системы, надежность технических средств, последовательная, параллельная, мажоритарная и монотонная системы, определение времени до отказа системы.

Key words: simulation training systems, the reliability of hardware, serial, parallel, majoritarian and monotonic systems, system time to failure definition.



АДЕЖНОСТЬ технических средств тренажерно-обучающих систем (ТОС) базируется на надежности их элементов, которая оценивается средним временем до отказа. Система относится к классу монотонных, для которых элемент и система могут находиться

в одном из двух состояний: работоспособное или отказ. Состояние такой системы Z полностью определяется состоянием ее элементов $Z_1, \dots, Z_n \in 0,1$ так, что структурная функция системы есть $\varphi(Z) = \varphi(Z_1, \dots, Z_n)$. При этом система может содержать p минимальных путей $P_1, \dots, P_p$ и k минимальных сечений $K_1, \dots, K_k$. Признак x_s — время до отказа системы выражается через признаки элементов $x_i, i = \overline{1, n}$ — время отказа i -го элемента [2].

Можно обозначить

$$C = (c_1, \dots, c_n), D = (d_1, \dots, d_n), X = (x_1, \dots, x_n)^T,$$

где C и D — множества, определяющие допустимое решение задачи нахождения $\overline{M}$. При этом элементы множеств C и D являются неотрицательными вещественными числами. Задачу, соответствующую рассматриваемому случаю, можно представить в виде

$$\begin{aligned} \overline{M}(x_s) &= \inf_{c_0, C \geq 0, D \geq 0} (c_0 + C\overline{M}(X) - \underline{M}(X)), \\ \underline{M}(x_s) &= -\overline{M}(-x_s), \end{aligned} \quad (1)$$

где c_0 — произвольное вещественное число,

$$\overline{M}(X) = (\overline{M}(x_1), \dots, \overline{M}(x_n))^T \text{ и } \underline{M}(X) = (\underline{M}(x_1), \dots, \underline{M}(x_n))^T.$$

В свою очередь c_0, C, D ограничены следующим условием:

$$c_0 + CX - DX \geq x_s, \forall X \geq 0. \quad (2)$$

Пусть $X \geq 0$ и $x_s \geq 0$. Обозначив $E = C - D$, выражения (1) и (2) можно представить как

$$\begin{aligned} \overline{M}(x_s) &= \inf_{c_0, C \geq 0, E} (c_0 + C[\overline{M}(X) - \underline{M}(X)] + E\underline{M}(X)), \\ c_0 + EX &\geq x_s, \forall X \geq 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Благодаря тому, что $D \geq 0$, имеется дополнительно ограничение $C \geq E$. Поскольку $\overline{M}(X) - \underline{M}(X) \geq 0$ (условие согласованности интервальных средних), то целевая функция (3) достигает минимума, когда $C = \max\{0, E\}$, поэтому

$$\overline{M}(x_s) = \inf_{c_0, c_i} \left(c_0 + \sum_{i=1}^n \max(c_i \overline{M}(x_i), c_i \underline{M}(x_i)) \right), \quad (4)$$

при ограничениях

$$c_0 + CX \geq x_s, \forall X \geq 0. \quad (5)$$

Аналогично можно записать для нижнего среднего:

$$\underline{M}(x_s) = \sup_{c_0, c_i} \left(c_0 + \sum_{i=1}^n \min(c_i \overline{M}(x_i), c_i \underline{M}(x_i)) \right), \quad (6)$$

при ограничениях

$$c_0 + CX \leq x_s, \forall X \geq 0. \quad (7)$$

В [1; 3; 4] доказано, что задаче (4) эквивалентны следующие задачи:

$$\overline{M}(x_s) = \inf_{c \geq 0} C\overline{M}(X), \quad (8)$$

при ограничениях

$$CX \geq f(X), \forall X \geq 0, \quad (9)$$

где $f(X)$ — однородная функция порядка 1, то есть

$$f(tX) = tf(X),$$

$$\overline{M}(x_s) = \inf_{Q \geq 0} Q \overline{M}(X) \sup_{X \geq 0} \frac{f(X)}{QX}, \quad (10)$$

где $Q = (q_1, \dots, q_n)$ — вектор, содержащий n элементов.

Соответственно задаче (6) эквивалентны:

$$M(x_s) = \sup_{C \geq 0} CM(X), \quad (11)$$

при ограничениях

$$CX \leq f(X), \forall X \geq 0,$$

$$M(x_s) = \sup_{Q \geq 0} Q M(X) \inf_{X \geq 0} \frac{f(X)}{QX}. \quad (12)$$

Приведенные формулы (8)–(12) позволяют существенно упростить решение оптимизационных задач определения $\overline{M}(x_s)$ и $M(x_s)$ для анализа надежности достаточно широкого класса систем, при этом существует решение в явном виде.

Ниже в качестве примера рассмотрены четыре вида систем: последовательная, параллельная, мажоритарная m из n и монотонная с точки зрения расчета их надежности с использованием интервальных средних:

1. Последовательная система, для которой $x_s = \min_i x_i$, имеет

$$\overline{M}(x_s) = \min_i \overline{M}(x_i) \text{ и } M(x_s) = 0.$$

Из приведенных соотношений следует:

1) верхнее среднее до отказа последовательной системы с произвольным числом независимых одинаковых элементов совпадает с верхним средним временем до отказа определенного элемента;

2) если последовательная система состоит из элементов, о надежности которых ничего не известно и существует хотя бы один элемент с конечным верхним средним временем до отказа $\overline{M}(x_i)$, тогда верхнее среднее время до отказа системы равно $\overline{M}(x_i)$;

3) если имеющаяся информация о надежности элементов последовательной системы ограничена только нижними средними временами до отказа, то надежность системы полностью неизвестна.

2. Параметрическая система, для которой $x_s = \max_i x_i$, имеет

$$\overline{M}(x_s) = \sum_{i=1}^n \overline{M}(x_i) \text{ и } M(x_s) = \max_i M(x_i).$$

Из приведенных соотношений следует:

1) нижнее среднее время до отказа параллельной системы с произвольным числом независимых одинаковых элементов совпадает с нижним средним временем до отказа отдельного элемента;

2) если параллельная система состоит из элементов, о надежности которых ничего не известно и существует хотя бы один элемент с конечным нижним средним временем до отказа $M(x_s)$, то нижнее среднее время до отказа системы равно $M(x_s)$.

3. Мажоритарная m из n система характеризуется структурной функцией

$$\varphi(z) = \begin{cases} 1, \text{ если } \sum_{i=1}^n z_i \geq m \\ 0, \text{ если } \sum_{i=1}^n z_i < m \end{cases}, z_i \in \{0, 1\}.$$

Если x_i — время до отказа i -го элемента, $i = 1, n$, то время до отказа системы $x_s = x_{(m+1)}$.

Пусть нижнее и верхнее средние времена до отказа элементов $a_i = \underline{M}(x_i)$ и $\bar{a}_i = \bar{M}(x_i)$ известны. Тогда для мажоритарной m из n системы, состоящей из одинаковых элементов, справедливо

$$\underline{M}(x_s) = \begin{cases} 0, & \text{если } m+1 < n \\ a, & \text{если } m+1 = n \end{cases}$$

$$\bar{M}(x_s) = \bar{a} \frac{n}{n-m}.$$

4. Монотонная система, состоящая из модулей [2], характерна тем, что признак x_s , соответствующий времени до ее отказа, выражается через признаки элементов $\max_{1 \leq j \leq P_j} \min x_i = x_s = \min_{1 \leq j < k_j \in K_j} \max x_i$.

Следовательно, признак x_s является функцией, содержащей только операции $\max$ и $\min$.

Исходя из сказанного, можно записать

$$\bar{M}(x_s) = \inf_{C \geq 0} C\bar{V},$$

где $\bar{V} = \{V_i\}^T$ и $V = \{V_i\}^T$ — верхнее и нижнее средние времена модулей,

при ограничениях

$$CX \geq x_s = \max_{1 \leq j \leq p} \min_{i \in P_j} x_i, X = \{x_i\}^T,$$

а $\underline{M}(x_s) = \sup_{C \geq 0} CV,$

при ограничениях

$$CX \leq x_s = \max_{1 \leq j \leq p} \min_{i \in P_j} x_i, X = \{x_i\}^T.$$

Материал п. 1–4 может быть обобщен для случая, когда признаками являются функции вида x^m . В этом случае средним являются моменты времени до отказа системы. На основе принципа продолжения для расчета нижнего m -го момента времени отказа системы можно записать

$$\underline{M}(x_s^m) = \sup \left(c_0 + \sum_{i=1}^n \min [c_i \bar{M}(x_i^m), c_i \underline{M}(x_i^m)] \right), \quad (13)$$

при ограничениях

$$c_0 + CX^m \leq x_s^m, \forall X \geq 0, c_0 \in R, c_i \in R,$$

а $\bar{M}(x_s^m) = \inf_{c_0, c_i} \left(c_0 + \sum_{i=1}^n \max [c_i \bar{M}(x_i^m), c_i \underline{M}(x_i^m)] \right), \quad (14)$

при ограничениях

$$c_0 + CX^m \leq x_s^m, \forall X \geq 0, c_0 \in R, c_i \in R.$$

Поскольку, если $x_s^m = f(X)$, то $f(X)$ — однородная функция порядка m , то есть $f(tX) = t^m f(X)$, то, введя функции $Y_i = x_i^m$ и $Y_s = x_s^m$ и подставив их в (10) и (12), можно получить выражения, соответствующие случаю, когда признаки — времена до отказа, то есть $m = 1$. Следовательно, (10) и (12) можно записать в более общем виде:

$$\underline{M}(x_s^m) = \sup_{Q \geq 0} Q \underline{M}(X^m) \inf_{X \geq 0} \frac{f(X^m)}{QX^m},$$

$$\bar{M}(x_s^m) = \inf_{Q \geq 0} Q \bar{M}(X^m) \sup_{X \geq 0} \frac{f(X^m)}{QX^m}.$$

Отсюда для последовательной системы

$$\overline{M}(x_s^m) = \min_i \overline{M}(x_i^m) \text{ и } M(x_s^m) = 0,$$

а для параллельной

$$\overline{M}(x_s^m) = \sum_{i=1}^n \overline{M}(x_i^m) \text{ и } M(x_s^m) = \max_i M(x_i^m).$$

Исходя из полученных результатов, для случая зависимости элементов по надежности определены общие соотношения для расчета интервальных времен до отказа тренажерно-обучающей системы, состоящей из зависимых элементов. Эти соотношения представляют собой задачи оптимизации, решаемые методом линейного программирования.

На основе полученных общих соотношений для расчета интервальных средних времен до отказа систем, состоящих из зависимых элементов, рассмотрены четыре вида систем: последовательные, параллельные, мажоритарные m из n и монотонные с точки зрения расчета их надежности. Для каждого вида названных систем получены соотношения для определения верхних и нижних средних времен до отказа. Рассмотрен случай, когда признаками являются функции вида $f(x^{(m)})$, тогда средними являются моменты времени до отказа. На базе принципа продолжения получены выражения в общем виде для расчета нижнего и верхнего m -го момента времени до отказа, а также интервальные границы для последовательной и параллельной систем.

Список литературы

1. *Алефельд Г.* Введение в интервальные вычисления: пер. с нем. / Г. Алефельд, Ю. Херцбергер. — М.: Мир, 1987. — 360 с.
2. *Барлоу Р.* Статистическая теория надежности и испытания на безотказность: пер. с англ. / Р. Барлоу, Ф. Протан. — М.: Наука, 1984. — 328 с.
3. *Кузнецов В. П.* Интегральные статистические модели / В. П. Кузнецов. — М.: Радио и связь, 1991. — 352 с.
4. *Шокин Ю. А.* Интервальный анализ / Ю. А. Шокин. — Новосибирск: Наука, 1981. — 112 с.

УДК 621.431.74

А. Ю. Самойленко,

д-р техн. наук, доцент,
ФБГОУ ВПО «Государственный морской
университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова»

ЧАСТОТНАЯ МОДЕЛЬ ИНДИКАТОРНОЙ ДИАГРАММЫ СУДОВОГО ДВУХТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ

FREQUENCY MODEL OF INDICATOR DIAGRAM OF THE SHIP'S TWO-STROKE DIESEL ENGINE

Модель описывает развернутую индикаторную диаграмму двухтактного дизеля в частотной области как единое целое, на основе ее представления в виде суммы гармоник. При этом и основные показатели диаграммы также выражены через параметры гармоник. Частотная модель может быть исполь-

зована при анализе существующих и разработке перспективных систем автоматизации судовых дизелей, в частности с электронным управлением.

Для специалистов в области разработки перспективных конструкций судовых дизелей, а также систем их контроля и управления.

There is a frequency model developed for the two-stroke diesel engine indicator diagram complete as a sum of its harmonic components described in this article. The key performance indicators of the diagram are reconstructed and presented via using harmonic components too. The frequency model can be used as versatile tool for engines' automation system development and performance analysis - for both the existing 2-stroke engines and the newly designed diesel engines, including engines equipped with advanced electronic controls.

This paper may be useful for ship's engines designers and professionals in the field of engines automation and controls.

Ключевые слова: двухтактный дизель, индикаторная диаграмма, максимальное давление, среднее индикаторное давление, гармонический анализ, частотная модель.

Key words: two-stroke diesel engine, indicator diagram, maximum cycle pressure, mean indicator cycle pressure, harmonic analysis, frequency model.

С

НАЧАЛА 2000-х гг. на морские суда в качестве главных двигателей интенсивно устанавливаются двухтактные малооборотные дизели с электронным управлением (серии ME фирмы "MAN B&W" и др.). В таких двигателях электронными средствами реализуется управление подачей топлива в цилиндры, цилиндровой смазки, выпускными клапанами и др. Преимущества, приобретаемые при электронном управлении, достаточно широко освещены в ряде источников.

Перспективным направлением развития таких двигателей следует считать дальнейшее совершенствование системы электронного (компьютерного) управления впрыском топлива. При электронном управлении впрыском топлива возможно оперативное и гибкое формирование не только желаемого закона топливоподачи, но и процесса горения топлива, а в конечном итоге — формы индикаторной диаграммы. Кроме этого, воздействие на закон впрыска топлива является одним из эффективных методов ограничения вредных выбросов дизеля.

Для разработки перспективных систем автоматического регулирования топливоподачи судовых дизелей необходимо иметь математическую модель индикаторной диаграммы, удобную для синтеза такой системы, а также математические модели ее наиболее важных показателей — максимального давления ($P_{\max}$), среднего индикаторного давления (p_{mi}) и др.

В отличие от известных моделей, частотная модель описывает развернутую индикаторную диаграмму в частотной области на основе представления индикаторной диаграммы в виде суммы гармоник. При этом и показатели диаграммы описываются в функции параметров гармоник.

В частотной модели развернутая индикаторная диаграмма двухтактного дизеля представляется суммой k гармоник с амплитудами $P_{i\max}$, начальными фазами φ_i и средним давлением p_o . Тогда для любого угла поворота φ коленчатого вала (ПКВ) давление определяется суммой мгновенных значений гармоник (рис. 1):

$$p(\varphi) = p_o + \sum_{i=1}^k P_{i\max} \cos(i\varphi + \varphi_i), \quad (1)$$

где $p(\varphi)$ — давление в функции угла ПКВ; i — номер гармоники.

В более ранних работах автора выражение (1) анализировалось в различных аспектах. Так, на его основе было получено выражение для среднего индикаторного давления [1]:

$$p_{mi} = \frac{\pi}{2} \left(P_{1\max} \sin \varphi_1 + \frac{\lambda}{2} P_{2\max} \sin \varphi_2 \right), \quad (2)$$

где λ — отношение радиуса кривошипа к длине шатуна.

Таким образом, было показано, что среднее индикаторное давление определяется параметрами только первых двух гармоник индикаторной диаграммы. При этом погрешность определения p_{mi} не превышает десятых долей процента.

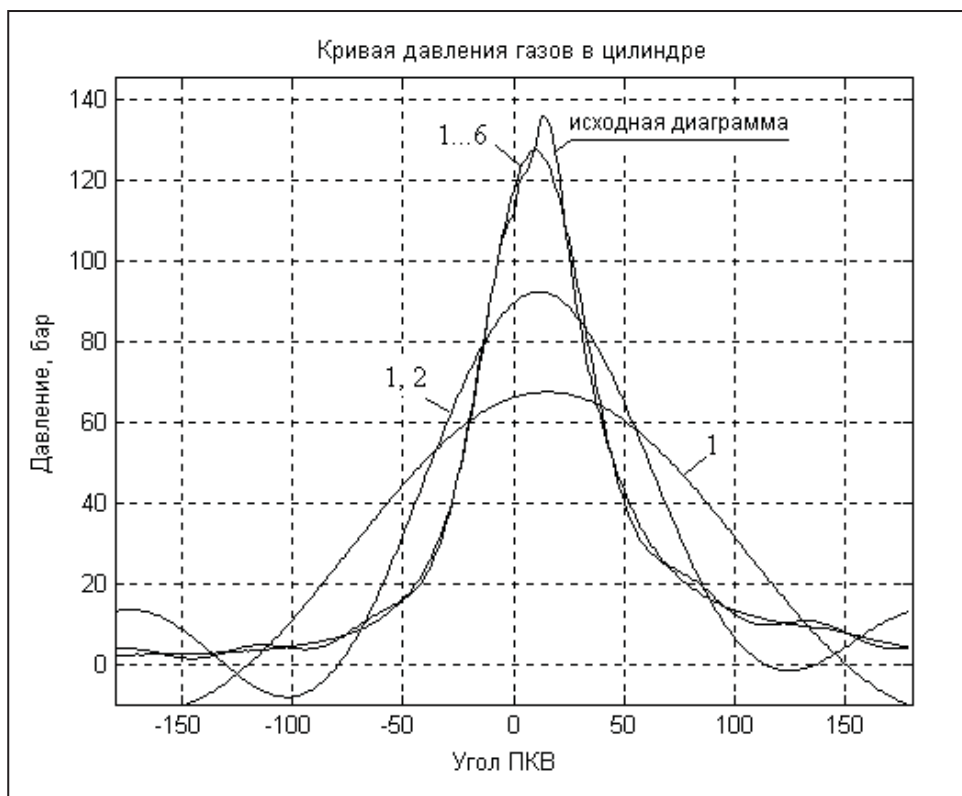


Рис. 1. Исходная индикаторная диаграмма и ее компоненты разложения:

1 — первая гармоника; 1, 2 — сумма первых двух гармоник; 1–6 — сумма первых 6 гармоник

В последующем выражение (2) было уточнено [2, с. 179–183], с целью повышения точности его определения до сотых долей процента:

$$p_{mi} = \frac{\pi}{2} \left\{ P_{1\max} \sin \varphi_1 - \frac{\lambda}{2} \left[\left(1 + \frac{1}{4} \lambda^2 + \frac{15}{128} \lambda^4 \right) P_{2\max} \sin \varphi_2 - \frac{1}{8} \lambda^2 P_{4\max} \sin \varphi_4 \right] \right\}. \quad (3)$$

В работе [2] было также показано, что среднее индикаторное давление определяется параметрами первой и всех четных гармоник индикаторной диаграммы. Однако с ростом номера гармоники ее вклад в p_{mi} быстро снижается и становится исчезающе малым при номере гармоники выше четвертой, что и учитывает выражение (3).

В работе [3, с. 64–67] на основе анализа индикаторной диаграммы дизеля в частотной области получено аналитическое выражение для максимального давления цикла как функции параметров гармонических составляющих диаграммы.

$$P_{\max_k} = \sum_{i=1}^k P_{i\max} [1 - \cos(i\pi)].$$

После простых преобразований оно может быть приведено к более удобному для восприятия виду:

$$P_{\max_k} = 2(P_{1\max} + P_{3\max} + P_{5\max} + \dots). \quad (4)$$

Таким образом, максимальное давление диаграммы определяется исключительно суммой амплитуд нечетных гармоник диаграммы. При практическом применении этого выражения к рассчитанному значению максимального давления следует прибавить избыточное давление продувочного воздуха. Тогда погрешность расчета максимального давления, как показывает обработка реальных индикаторных диаграмм, как правило, не превышает $\pm 2,5\%$, что с практической точки зрения можно считать приемлемым.

В выражении (1) фигурирует среднее давление p_o . Для его записи через параметры гармоник применен следующий подход. При обработке индикаторных диаграмм замечено, что в зоне нижней мертвой точки мгновенные значения всех гармоник равны их амплитудам. Общая же сумма амплитуд четных и нечетных гармоник по существу является средним давлением индикаторной диаграммы p_o . Однако амплитуды четных гармоник имеют положительный знак и суммируются с этим знаком, а амплитуды нечетных гармоник суммируются с отрицательным знаком. Это наглядно проявляется на рис. 2. Тогда выражение для среднего давления можно записать в виде

$$P_o = \sum_{i=1}^k P_{i_{\max}} \cos(i\pi). \quad (5)$$

В этом выражении множитель $\cos(i\pi)$ введен для задания знака, с которым суммируются амплитуды гармоник. Если подставить выражение (5) в (1), то после преобразований получим

$$p(\varphi) = \sum_{i=1}^k P_{i_{\max}} [\cos(i\varphi + \varphi_i) - \cos(i\pi)]. \quad (6)$$

При практическом применении этого выражения к рассчитанному значению давления следует прибавить избыточное давление продувочного воздуха.

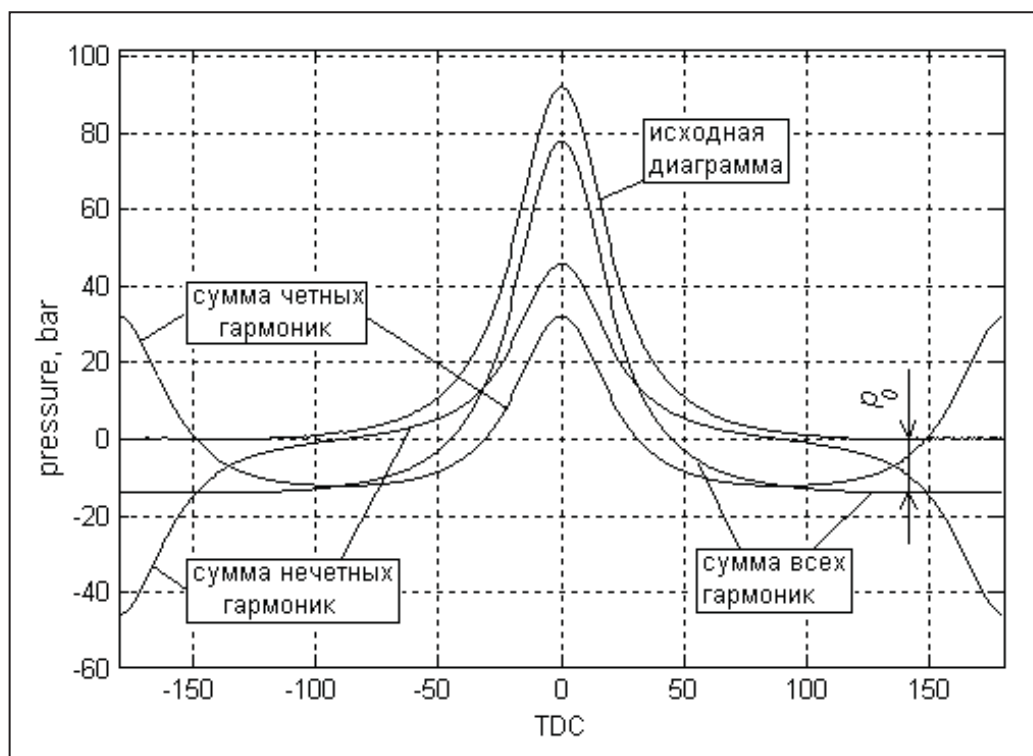


Рис. 2. Разложение индикаторной диаграммы на четные и нечетные гармоники

Таким образом, получена система уравнений, описывающая как саму индикаторную диаграмму дизеля, так и ее важнейшие параметры:

— давление в функции угла ПКВ (собственно частотная модель диаграммы):

$$p(\varphi) = \sum_{i=1}^k P_{i_{\max}} [\cos(i\varphi + \varphi_i) - \cos(i\pi)];$$

— среднее индикаторное давление (или по формуле (3)):

$$P_{mi} = \frac{\pi}{2} \left(P_{1_{\max}} \sin \varphi_1 + \frac{\lambda}{2} P_{2_{\max}} \sin \varphi_2 \right);$$

— максимальное давление:

$$P_{\max_k} = 2(P_{1_{\max}} + P_{3_{\max}} + P_{5_{\max}} + \dots);$$

— среднее значение давления:

$$P_o = \sum_{i=1}^k P_{i_{\max}} \cos(i\pi).$$

Из выражения для $p(\varphi)$ могут быть получены выражения для значений давлений, обычно определяемых на некоторых фиксированных углах ПКВ (p_{12} , p_{36} и др.), угол действия максимального давления (численно равен φ_1), выражение для скорости нарастания давления и ее максимального значения и т. д.

Данная система уравнений и есть частотная модель индикаторной диаграммы и ее параметров. Преимуществом данной модели является ее представление в частотной области, что позволяет использовать для ее дальнейшей обработки хорошо разработанные частотные методы анализа и синтеза динамических систем.

Индикаторные диаграммы судовых дизелей, полученные электронными системами индцирования (DPA, PMI, Malin и др.), с помощью Фурье-преобразования могут быть легко преобразованы из массивов чисел, не допускающих их аналитической обработки, к виду выражения (6) и в таком виде храниться и обрабатываться аналитически в соответствии с вышеприведенными выражениями.

Уравнение (6) описывает развернутую индикаторную диаграмму как единое целое для всего диапазона углов ПКВ — от -180° до $+180^\circ$, что удобно. В отличие от этого, при традиционном термодинамическом анализе диаграмма описывается по частям — сжатие (политропа с определенным показателем), сгорание, расширение (политропа с определенным показателем), выпуск и т. д. Эти части — отдельные процессы, они описываются в разной форме и их необходимо стыковать, что весьма непросто.

Адекватность полученной модели многократно подтверждена обработкой реальных индикаторных диаграмм судовых дизелей.

Список литературы

1. *Самойленко А. Ю.* Электронные системы контроля параметров рабочего процесса судовых средне- и высокооборотных дизелей / А. Ю. Самойленко. — СПб.: Судостроение, 2004. — 132 с.
2. *Самойленко А. Ю.* Определение среднего индикаторного давления по параметрам гармоник развернутой индикаторной диаграммы / А. Ю. Самойленко // Сб. науч. тр. МГА им. адм. Ф. Ф. Ушакова. — Новороссийск: МГА им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2005. — Вып. 10.
3. *Самойленко А. Ю.* Максимальное давление индикаторной диаграммы, представленной суммой гармоник / А. Ю. Самойленко, Н. А. Шостак // Изв. вузов Сев.-Кавк. регион. техн. науки. — 2008. — Спецвып.

СПОСОБЫ ВИБРАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ НА СУДАХ

METHODS OF VIBRATION PROTECTION ON SHIPS

В статье рассмотрены существующие методы защиты от вибрации, применяемые в промышленности. Предложена уточненная классификация методов защиты.

The article deals with the existing methods of protection against vibration used in industry. A refined classification of methods of protection is proposed.

Ключевые слова: вибрация, механические колебания, методы виброзащиты.

Key words: vibration, mechanical vibrations, vibration protection methods.

К

АК известно, при движении механической системы под действием внешних сил в ней возникают механические колебания или вибрации. Эти вибрации оказывают влияние на функционирование механизма и часто ухудшают его эксплуатационные характеристики: снижают точность, уменьшают КПД и долговечность машины, увеличивают нагрев деталей, снижают их прочность, оказывают вредное воздействие на человека-оператора. Примерами таких колебаний могут быть: дрожание токарного резца, ведущее к ухудшению качества поверхности; колебания клапанных пружин, нарушающие моменты газораспределения в двигателе; дрожание пола и дребезжание оконных стекол вследствие работы двигателя неподалеку от здания и т. п. Нередко эти колебания становятся разрушительными; от крутильных колебаний ломаются коленчатые валы, сильные колебания разрушают клапанные пружины, в стенах зданий от распространяющихся через грунт сотрясений образуются трещины. Если не удастся уравновесить и сбалансировать отдельные звенья и механизм в целом, то для снижения влияния вибраций используют различные методы борьбы с вибрацией. С одной стороны, при проектировании машины принимают меры для снижения ее виброактивности (уравновешивание и балансировка механизмов), с другой — предусматриваются средства защиты как машины от вибраций, исходящих от других машин (для рассматриваемой машины от среды), так среды и операторов от вибраций данной машины.

Проблема защиты от вибрации и ударов существует на каждом машиностроительном предприятии, в организациях, осуществляющих грузовые и пассажирские перевозки автомобильным и ж/д транспортом, при использовании вентиляционного, холодильного, компрессорного оборудования и т. п. Везде, где есть движение, вращение, соударение, существует проблема с вибрацией.

Вибрационная защита — это совокупность средств и методов уменьшения вибрации, воспринимаемой защищаемыми объектами. Защищаемыми объектами могут быть люди, управляющие машинами; обслуживающий персонал, находящийся в зоне действия вибрации; здания или иные сооружения; машины, аппараты, приборы, находящиеся в зоне действия вибрации; детали, узлы, механизмы и устройства, входящие в состав машины, работа которой порождает вибрацию.

В соответствии с этим методы вибрационной защиты включают как расчетно-теоретические, так и конструкторско-экспериментальные решения, причем оба вида решений, как правило, взаимосвязаны.

К основным методам виброзащиты относятся следующие.

1. Снижение интенсивности источников вибрации. К источникам вибрации относятся трансмиссии, двигатели, подшипники, зазоры в сочленениях деталей. Эти факторы усиливаются с увеличением износа деталей. Способы снижения интенсивности вибрации специфичны для каждого частного случая. При проектировании конструкции движущиеся массы машины или механизма должны быть уравновешены.

2. Снижение частоты периодического движения механизма, в том числе за предел диапазона частот нормируемой вибрации, связанное с изменением конструкции объекта.

3. Динамическое гашение колебаний, достигаемое с помощью специального динамического виброгасителя, устанавливаемого в систему объекта.

4. Виброизоляция, которая сводится к ослаблению связей между источником и объектом. Демпфирующие элементы и устройства, устанавливаемые между вибрирующей деталью и защищенным объектом, называют виброизоляторами.

Подробно рассматривая методы вибрационной защиты, на основании [1] с учетом защиты человека-оператора [3] можно принять уточненную классификацию методов защиты (рис. 1).

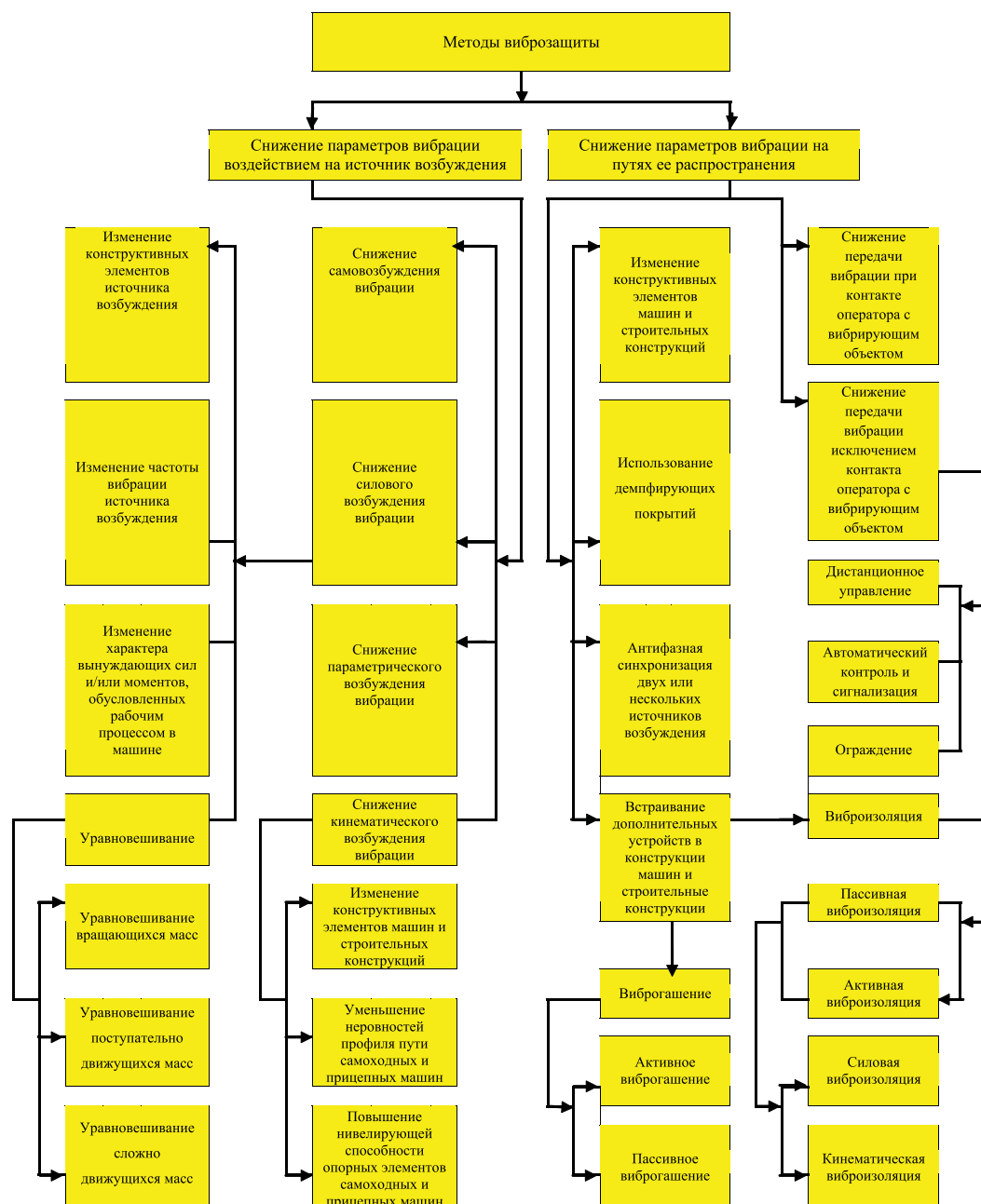


Рис. 1. Методы виброзащиты

Методы защиты по отношению к источнику возбуждения вибрации подразделяют:

- на методы, снижающие параметры вибрации воздействием на источник возбуждения;
- методы, снижающие параметры вибрации на путях ее распространения от источника

возбуждения.

Методы защиты, снижающие вибрацию воздействием на источник возбуждения, по виду возбуждения подразделяют:

- на методы, снижающие самовозбуждение вибрации;
- методы, снижающие силовое возбуждение вибрации;
- методы, снижающие параметрическое возбуждение вибрации;
- методы, снижающие кинематическое возбуждение вибрации.

Методы, снижающие силовое возбуждение вибрации, по виду реализации подразделяют:

— на методы, снижающие возбуждение изменением конструктивных элементов источника возбуждения вибрации;

— методы, снижающие возбуждение изменением частоты вибрации источника возбуждения вибрации;

— методы, снижающие возбуждение изменением характера вынуждающих сил и/или моментов, обусловленных рабочим процессом в машине;

— методы уравнивания.

Методы, снижающие кинематическое возбуждение вибрации, по виду реализации подразделяют:

— на методы, снижающие возбуждение изменением конструктивных элементов машин и строительных конструкций;

— методы, снижающие возбуждение уменьшением неровностей профиля пути самоходных и прицепных машин;

— методы, снижающие возбуждение повышением нивелирующей способности опорных элементов самоходных и прицепных машин.

Методы уравнивания по виду движения инерционных масс источника возбуждения вибрации подразделяют:

- на методы уравнивания вращающихся масс;
- методы уравнивания поступательно движущихся масс;
- методы уравнивания сложно движущихся масс.

Методы, снижающие передачу вибрации на путях ее распространения, по виду реализации подразделяют:

— на методы, снижающие передачу вибрации изменением конструктивных элементов машин и строительных конструкций;

— методы, снижающие передачу вибрации использованием демпфирующих покрытий;

— методы, снижающие передачу вибрации антифазной синхронизацией двух или нескольких источников возбуждения вибрации;

— методы, снижающие передачу вибрации использованием дополнительных устройств, встраиваемых в конструкцию машин, в строительные конструкции и сооружаемых на путях распространения вибрации.

Методы, снижающие передачу вибрации использованием дополнительных устройств, встраиваемых в конструкцию машин и строительные конструкции, подразделяют по принципу действия:

- методы виброизоляции;
- методы виброгашения.

Методы виброизоляции подразделяют по использованию дополнительного источника энергии:

- на методы пассивной виброизоляции;
- методы активной виброизоляции;

по виду снижаемого динамического воздействия:

- на методы силовой виброизоляции;
- методы кинематической виброизоляции.

Методы виброгашения по использованию дополнительного источника энергии подразделяют:

- на методы пассивного виброгашения;
- методы активного виброгашения.

Методы, снижающие вибрацию на путях ее распространения, по наличию контакта оператора с вибрирующим объектом подразделяют:

- на методы, снижающие передачу вибрации при контакте оператора с вибрирующим объектом;
- методы, снижающие передачу вибрации исключением контакта оператора с вибрирующим объектом.

Методы, снижающие передачу вибрации исключением контакта оператора с вибрирующим объектом подразделяют:

- на методы, использующие дистанционное управление;
- методы, использующие автоматический контроль и сигнализацию;
- методы, использующие ограждение.

Список литературы

1. ГОСТ 26568-85. Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация.
2. *Левитский Н. И.* Колебания в машинах: учеб. пособие для втузов / Н. И. Левитский. — М.: Наука: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. — 336 с.
3. *Романченко М. К.* Защита человека от низкочастотной вибрации / М. К. Романченко, Л. В. Пахомова. — Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. — 132 с.
4. *Романченко М. К.* Методы снижения вибрации и шума на судах, их эффективность и область применения / М. К. Романченко // Водный транспорт Европы: интеграция, инвестиции, инновации: материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Нева–2011» / СПГУВК. — СПб., 2011.
5. *Романченко М. К.* Технология защиты оборудования от вибрации / М. К. Романченко // Сибирский научный вестник / ННЦ «Ноосферные знания и технологии» РАЕН. — Новосибирск, 2010. — Вып. XIII. — С. 92–95.
6. Теория механизмов и машин / под ред. К. В. Фролова. — М.: Высш. шк., 1987.

В. М. Приходько,
канд. техн. наук, доцент,
СПГУВК;

М. А. Ивлёв,
канд. техн. наук,
филиал «Севмаш ВТУЗ»
СПГМТУ;

И. В. Приходько,
аспирант,
СПГУВК

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ДИСКРЕТНОГО ТИПА

EFFICIENCY OF THE JACK OF JET CAPACITY OF DISCRETE TYPE

Исследована эффективность применения компенсатора реактивной мощности дискретного типа в сетях электроснабжения судоремонтного предприятия.

Efficiency of application of the jack of jet capacity of discrete type in networks of an electrical supply of the ship-repair enterprise is investigated.

Ключевые слова: компенсатор реактивной мощности дискретного типа, эффективность, судоремонтное предприятие, управление режимами электроснабжения.

Key words: the jack of jet capacity of discrete type, efficiency, the ship-repair enterprise, management of electrical supply modes.

В РЫНОЧНЫХ экономических условиях автоматизированные испытания судовых электростанций судов различного назначения в отрасли водного транспорта проводят с использованием промышленной электрической сети судостроительного или судоремонтного предприятия [1]. При строительстве, достройке, испытаниях, ремонте судов речного и морского транспорта для обеспечения энерго- и ресурсосбережения создаются на основе электрической сети судостроительно-судоремонтного предприятия электротехнические комплексы «берег–судно» или «берег–док» [2, с. 1–10]. Эти современные электротехнические комплексы «берег–судно» или «берег–док», используя промышленную электрическую сеть судостроительно-судоремонтного предприятия, реализуют системные испытания по энергосберегающей технологии [3].

Система электроснабжения современного судоремонтного предприятия представляет собой сложный комплекс устройств для передачи, преобразования, распределения электрической энергии и оперативно-диспетчерского управления ими, служащий для обеспечения производства различных (по роду тока, уровням напряжения и частоты) видов электроэнергии на всех этапах постройки и ремонта судов, кораблей, плавсредств, обеспечения вспомогательного производства и объектов инфраструктуры предприятия. Как правило, системы электроснабжения судоремонтных предприятий не имеют собственных генерирующих мощностей, чем обусловлена необходимость приобретения 100 % потребляемой электроэнергии у поставщиков на оптовом или розничном рынках электроэнергии и мощности. Последнее обстоятельство делает предприятия в значительной мере зависимыми от условий, диктуемых энергоснабжающей организацией в части финансовых и технических вопросов их взаимодействия, регулируемых рядом нормативных документов, таких как Гражданский кодекс РФ, Федеральный закон РФ «Об электроэнергетике», Правила и нормы

оптового рынка электроэнергии, нормативные документы РАО «ЕЭС России», договор купли-продажи электроэнергии и др. Действующая сегодня система взаимоотношений поставщика и потребителя электроэнергии диктует последнему необходимость наличия возможностей оперативного регулирования параметров электропотребления как по активной, так и по реактивной составляющим потребления, с одной стороны, и корректного установления плановых объемов потребления на заданные расчетные периоды времени — с другой. Необходимо отметить, что неверное установление плановых объемов потребления (следствием чего является отклонение от них фактических величин потребления) влечет применение к потребителю крупных штрафных санкций.

Кроме того, управление режимами электроснабжения судоремонтного предприятия необходимо осуществлять с целью поддержания характеристик и режимов работы отдельных элементов системы электроснабжения в рамках нормативных параметров во избежание нарушения их нормального функционирования, предупреждения и локализации аварий, повышения общего качества оперативно-диспетчерского управления энергосистемой.

Вместе с тем исследования систем электроснабжения и организации работы энергослужб судоремонтных предприятий выявили ряд серьезных проблем, а именно:

- а) отсутствие обоснованных методик определения величин плановых объемов потребления электроэнергии и мощности;
- б) отсутствие возможностей оперативного контроля параметров электропотребления и контроля с накоплением данных за определенный промежуток времени, что делает невозможным проверку объемов, предъявляемых энергоснабжающей организацией;
- в) отсутствие возможности контроля и учета параметров электропотребления и параметров качества электроэнергии отдельных потребителей, в том числе объектов обеспечения постройки, ремонта и испытания кораблей и судов;
- г) отсутствие устройств компенсации реактивной мощности, работающих в автоматическом режиме и обладающих необходимыми точностью и быстродействием;
- д) как следствие, отсутствие реальных возможностей управления режимами электроснабжения на требуемом уровне.

Из сказанного выше следует, что для комплексного решения проблемы повышения качества управления режимами электроснабжения судоремонтного предприятия требуется разработка системы учета и контроля параметров электропотребления, разработка методики определения величин плановых объемов потребления мощности, разработка автоматизированных устройств для компенсации реактивной мощности, обладающих высокой точностью и быстродействием.

Проблема компенсации реактивной мощности в сетях крупных потребителей электроэнергии приобретает в последнее время все большую актуальность, при этом можно выделить два основных комплекса способствующих этому причин. Во-первых, действующие тарифы на электроэнергию для промышленных потребителей предполагают систему скидок и надбавок к базовым тарифам за потребление (генерацию) реактивной мощности, что напрямую связано с режимами работы компенсаторов реактивной мощности у потребителя. Во-вторых, сложность и разветвленность систем электроснабжения крупных судостроительно-судоремонтных предприятий, разнообразие видов нагрузок и режимов их работы делают целесообразным применение децентрализованных систем компенсации реактивной мощности (как правило, на уровне трансформаторной подстанции или отдельной группы мощных потребителей). Наконец, проведенные исследования систем электроснабжения нескольких крупных судостроительных (судоремонтных) предприятий Северо-Западного региона показали, что большинство узлов нагрузки и центров питания либо вообще не оснащены устройствами компенсации реактивной мощности, либо имеющиеся компенсаторы по разным причинам могут работать только в режиме ручного регулирования мощности, что совершенно не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системам компенсации реактивной мощности [4, с. 201–205; 5, с. 38–43].

Для решения вышеобозначенных проблем предлагается использовать компенсатор реактивной мощности дискретного типа (КРМ ДТ) [6, с. 241–244; 7, с. 541–545].

Упрощенная структура КРМ ДТ показана на рис. 1. Силовая часть компенсатора состоит из четырех секций конденсаторных батарей (КБ1, КБ2, КБ3, КБ4) с соотношением мощностей 1:2:4:8, при этом конденсаторы каждой секции включены треугольником. Каждая из секций конденсаторов подключается к сети посредством последовательно соединенных с ними бесконтактных коммутаторов, выполненных на основе IGBT-транзисторов (ТК1, ТК2, ТК3, ТК4). Такая организация силовой части КРМ позволяет, во-первых, значительно сократить количество коммутационно-защитной аппаратуры, во-вторых, обеспечить 15 (с нулевым уровнем — 16) ступеней регулирования реактивной мощности компенсатора, обеспечивая достаточно плавное изменение мощности при широком диапазоне регулирования.

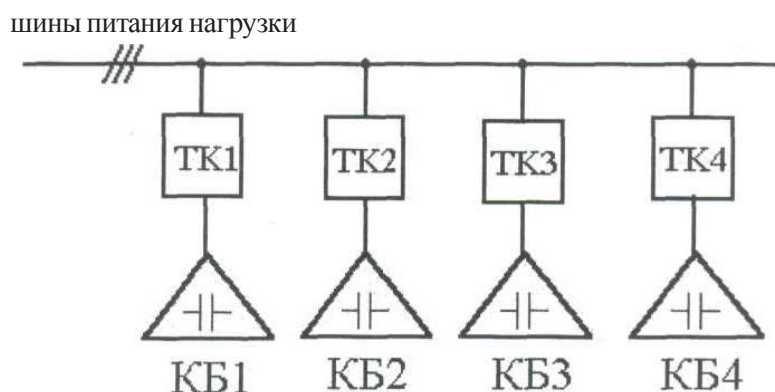


Рис. 1. Структура КРМ ДТ

Важнейшей особенностью предлагаемого компенсатора реактивной мощности по сравнению с применяемыми в настоящее время устройствами является то, что с целью исключения бросков тока в КБ при коммутациях подключение конденсаторов к сети происходит не в произвольный момент времени, а в момент равенства мгновенного напряжения сети и остаточного напряжения на конденсаторах. Диаграмма, поясняющая работу КРМ ДТ и показывающая изменение величины реактивной мощности устройства, приведена на рис. 2.

Силовая часть компенсатора состоит из четырех секций КБ, мощности которых относятся друг к другу как 1:2:4:8. Такое построение силовой схемы статического транзисторного коммутатора (СТК) позволяет сократить количество коммутационной аппаратуры при достаточно широком диапазоне регулирования мощности конденсаторной батареи (КБ) [6; 7].

Поскольку полная реактивная мощность проектируемой установки составляет 600 кВАр, мощность одной ступени регулирования определяется следующим образом:

$$\Delta Q = 600/15 = 40 \text{ кВАр.}$$

Мощности первой, второй, третьей и четвертой секций конденсаторной батареи соответственно равны:

$$\begin{aligned} Q_1 &= 40 \text{ кВАр;} \\ Q_2 &= 80 \text{ кВАр;} \\ Q_3 &= 160 \text{ кВАр;} \\ Q_4 &= 320 \text{ кВАр.} \end{aligned}$$

Суммарная емкость конденсаторов одной секции конденсаторной батареи определяется из выражения [7]:

$$Q = \omega C U^2.$$

Отсюда получаем соответственно

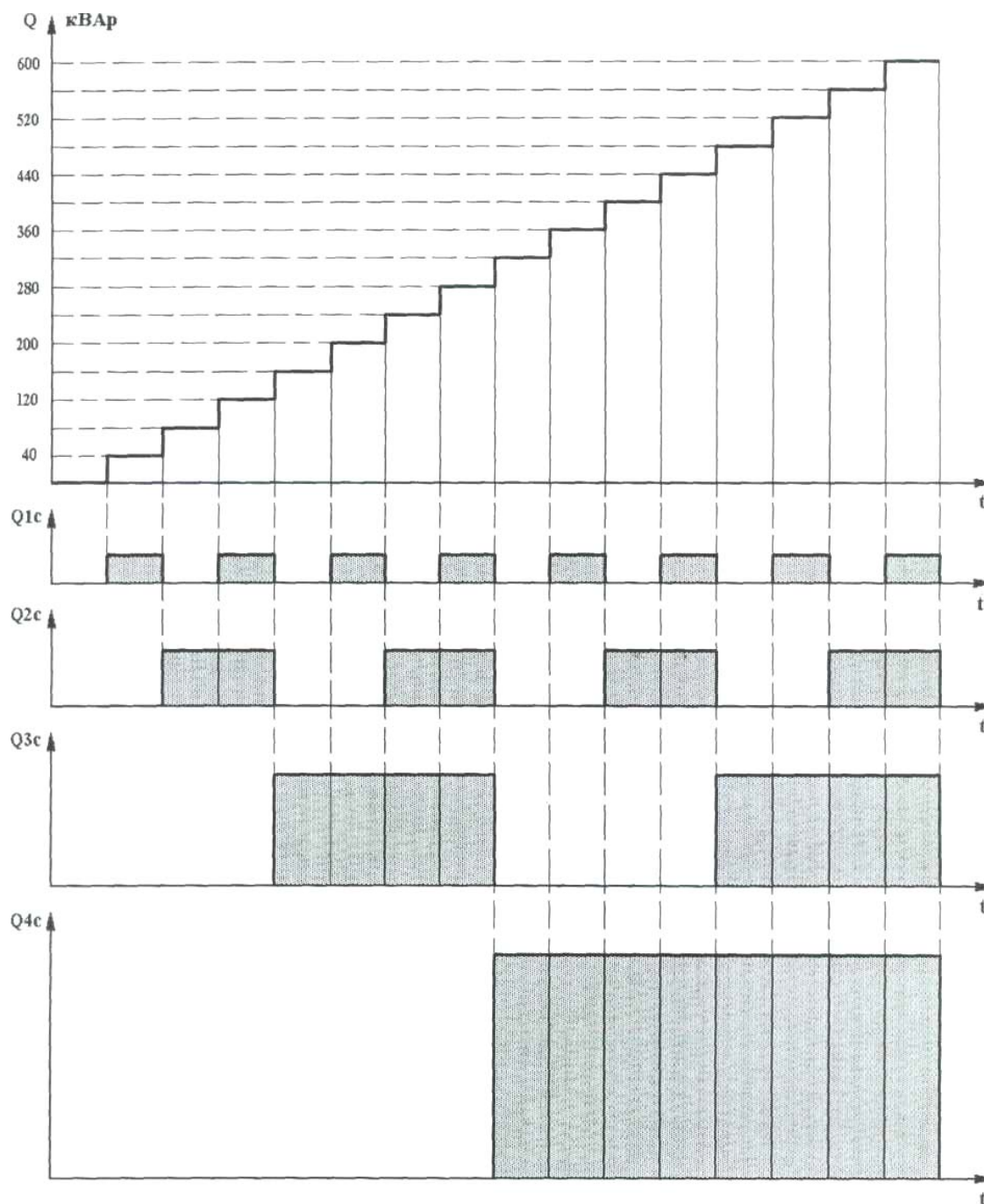


Рис. 2. Диаграммы, поясняющие работу компенсатора реактивной мощности дискретного типа

$$C_1 = \frac{Q}{\omega \cdot U^2} = \frac{40 \cdot 10^3}{2\pi \cdot 50 \cdot 380^2} \approx 882 \text{ мкФ};$$

$$C_2 = 1764 \text{ мкФ};$$

$$C_3 = 3528 \text{ мкФ};$$

$$C_4 = 7056 \text{ мкФ}.$$

Таким образом, емкости конденсаторов, подключенных в каждую фазу одной секции соответствующих ступеней, будут равны:

$$C_{AB1} = C_{BC1} = C_{CA1} = 294 \text{ мкФ};$$

$$C_{AB2} = C_{BC2} = C_{CA2} = 588 \text{ мкФ};$$

$$C_{AB3} = C_{BC3} = C_{CA3} = 1176 \text{ мкФ};$$

$$C_{AB4} = C_{BC4} = C_{CA4} = 2352 \text{ мкФ}.$$

Фазные токи секций батарей конденсаторов определим как

$$I_{\phi} = \frac{U}{X_c} = U \cdot \omega \cdot C,$$

$$I_{\phi^1} = 380 \cdot 314 \cdot 294 \cdot 10^{-6} = 35,1 \text{ А};$$

$$I_{\phi^2} = 70,2 \text{ А};$$

$$I_{\phi^3} = 140,4 \text{ А};$$

$$I_{\phi^4} = 280,8 \text{ А}.$$

Тогда линейные токи каждой из секции будут равны:

$$I_{Л1} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi^1} = 60,8 \text{ А};$$

$$I_{Л2} = 121,6 \text{ А};$$

$$I_{Л3} = 243,2 \text{ А};$$

$$I_{Л4} = 486,4 \text{ А}.$$

На основании приведенных выше расчетов целесообразно применить косинусные конденсаторы марки КЭС1-0,66-40-2У1. Емкость одного такого конденсатора равна $C = 292 \text{ мкФ}$. Таким образом, в каждой фазе первой секции содержится по одному конденсатору, второй секции — по два параллельно соединенных конденсатора, третьей секции — по четыре и четвертой секции — по восемь конденсаторов.

Для коммутации батарей конденсаторов предлагается применять вместо тиристоров IGBT-транзисторы. Управление транзисторными ключами существенно отличается от управления тиристорами. Транзистор является полностью управляемым ключом, его можно открывать и закрывать в любой момент времени, поэтому система управления должна быть точно синхронизирована с сетью и выдавать команды ключу не только на включение, но и на выключение [7].

IGBT-транзисторы обладают достаточно малым временем переключения. Это позволяет с высокой точностью переключать транзисторы в моменты перехода тока конденсаторов через ноль, а также включать транзисторные ключи в момент времени, когда мгновенное значение напряжения питающей сети и остаточное напряжение на конденсаторе будут равны по величине. Последнее условие, как указывалось выше, позволяет избежать возникновения переходных процессов в КБ при ее подключении к сети.

Выбор силовых транзисторов производится по максимальному напряжению между коллектором и эмиттером и номинальному току через транзистор. Амплитуда напряжения между коллектором и эмиттером на закрытом IGBT-транзисторе может достигать значения:

$$U_{Tm} = 2 \cdot U_a = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot U = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 380 = 1075 \text{ В}.$$

Это возможно, если конденсатор был заряжен до амплитудного значения напряжения сети. Таким образом, транзистор должен выдерживать эту разность потенциалов с некоторым запасом.

В рассматриваемом компенсаторе реактивной мощности предлагается использовать силовые IGBT-транзисторные модули фирмы "MITSUBISHI". Однако это не исключает возможности использования силовых модулей других производителей, имеющих такие же основные параметры, как приведенные ниже для IGBT-модулей фирмы "MITSUBISHI". Каждый модуль (рис. 3) содер-

жит два IGBT-транзистора (коллектор одного из транзисторов соединен с эмиттером другого) и два защитных диода, включенных между эмиттером и коллектором транзисторов, то есть в одном модуле расположены все компоненты для построения транзисторного ключа.

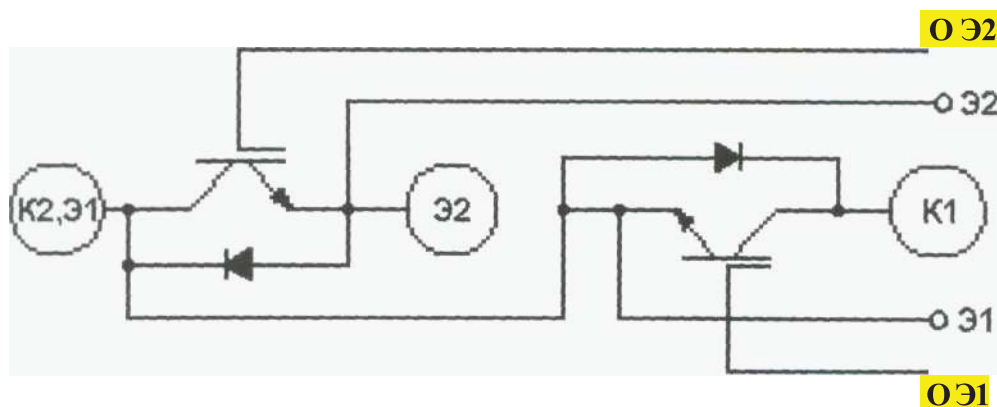


Рис. 3. Принципиальная схема IGBT-модуля

Для коммутации четвертой, самой мощной секции используется модуль CM400DU-24F со следующими параметрами:

- максимальное напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэм} = 1200$ В;
- постоянный ток через коллектор-эмиттер $I_{кэм} = 400$ А;
- управляющее напряжение $U_{зэ} = \pm 20$ В;
- типовое падение напряжения на открытом транзисторе $U_{кэ0} = 1,8$ В;
- входная емкость модуля $C_{вх} = 160$ нФ;
- эквивалентный входной заряд $Q_{вх} = 4400$ нК;
- максимальное время включения $t_{вкл} = 650$ нс;
- максимальное время выключения $t_{выкл} = 1300$ нс;
- максимальный входной ток утечки $I_{вх,у} = 80$ мкА;
- максимальный ток через закрытый транзистор $I_{кэ,т} = 2$ мА.

Для коммутации третьей секции подходит модуль CM200DU-24H, для коммутации второй секции — модуль CM100DU-24H и для первой — модуль CM50DU-24H. Основные параметры выбранных IGBT-модулей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры применяемых IGBT-модулей

Тип модуля	$U_{кэм}$, В	$I_{кэм}$, А	$U_{зэ}$, В	$U_{кэ0}$, В	$C_{вх}$, нФ	$Q_{вх}$, нК	$t_{вкл}$, нс	$t_{выкл}$, нс	$I_{вх,у}$, мкА	$I_{кэ,т}$, мА
CM400DU-24F		400		1,8	160	4400	650	1300	80	2
CM200DU-24H	1200	200	± 20	2,4	60	1400	550	850	2	2
CM100DU-24H		100		2,5	16	400	450	650	0,5	1
CM50DU-24H		50		2,3	8,2	200	450	600	0,5	1

Компенсатор реактивной мощности в общем случае подключается к шинам низкого (0,4 кВ) напряжения трансформаторной подстанции (ТП). Следует обеспечить возможность простого отключения его от шин ТП при возникновении необходимости (при ремонте, профилактическом об-

служивании и др.). Кроме того, необходимо обеспечить защиту от коротких замыканий в силовой части компенсатора [5; 7].

Исходя из данных требований, каждая секция компенсатора должна быть подключена к шинам ТП с помощью кабелей через автоматический выключатель.

Выбор сечения жил кабеля должен производиться по рабочему току, протекающему через кабель. В данном случае через жилы кабеля протекают линейные токи конденсаторных батарей. Длина кабеля должна быть по возможности небольшой, чтобы падение напряжения на нем было минимальным, так как реактивная мощность конденсатора пропорциональна квадрату напряжения на его обкладках.

При выборе автоматических выключателей учитывают: номинальный ток; уставку по току и по времени срабатывания; коммутационную способность; вид расцепителя (электромагнитный, тепловой, комбинированный).

Для подключения конденсаторных батарей возможно использование трехфазных автоматов переменного тока серии А3100 с электромагнитным расцепителем, время срабатывания у которых равно 4 мс.

Параметры автоматических выключателей и кабелей, используемых для подключения секций компенсатора, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры кабелей и автоматических выключателей

Наименование присоединения	I_n, A	Марка кабеля	Количество и сечение жил, мм	Тип автомата	$I_{ном.авт}, A$
Секция 1	60,8	АВВГ	3×35	А3124	75
Секция 2	121,6		3×95	А3134	150
Секция 3	243,2		3×300	А3144	250
Секция 4	486,4		2(3×300)	А3144	500

Комплексное решение проблемы управления режимами электроснабжения судостроительно-судоремонтного предприятия за счет разработки методики установления плановых параметров потребления активной мощности, с одной стороны, и разработки устройств компенсации реактивной мощности — с другой, позволяет добиться повышения технико-экономических показателей работы энергохозяйства предприятия в отрасли водного транспорта.

На основе проведенных исследований разработан комплекс мероприятий, совокупность которых направлена на совершенствование процесса управления электроснабжением судоремонтного предприятия. В результате выполненных исследований получены аналитические соотношения, позволяющие выбрать параметры статического полупроводникового компенсатора реактивной мощности с учетом характеристик питающей сети судостроительно-судоремонтного предприятия.

Разработана математическая модель компенсатора реактивной мощности дискретного типа, адекватно отражающая реальные электромагнитные процессы режима компенсации реактивной мощности в сетях электроснабжения судоремонтного предприятия.

Теоретические результаты подтверждаются математическим моделированием, выполненным на ПЭВМ в среде MatLab-Simulink. Достоверность теоретических положений подтверждена практическим использованием и экспериментальным исследованием опытных образцов компенсаторов реактивной мощности дискретного типа.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований с целью решения проблемы компенсации реактивной мощности в электрических сетях судоремонтного предприятия предлагается использовать статический полупроводниковый (транзисторный вместо тиристорного) компенсатор реактивной мощности дискретного типа.

Список литературы

1. Приходько В. М. Повышение электро-, пожаробезопасности при электроснабжении судов от береговых сетей / В. М. Приходько. — СПб.: СПГУВК, 2009. — 218 с.
2. Приходько В. М. Портативный прибор для технического диагностирования состояния контура «фаза–нулевой защитный проводник» при электроснабжении с берега ремонтируемых судов / В. М. Приходько // Морской транспорт. Сер. «Техническая эксплуатация флота». Экспресс-информация. — 1991. — № 3 (743).
3. Приходько В. М. Обеспечение электро- и пожаробезопасности при электроснабжении судов от береговых сетей / В. М. Приходько. — СПб.: СПГУВК, 2003. — 163 с.
4. Ивлев М. Л. Исследование эффективности применения компенсатора реактивной мощности дискретного типа в сетях электроснабжения промышленного предприятия / М. Л. Ивлев, А. И. Черевко, Е. В. Лимонникова // Сб. докл. VIII РНТК «ЭМС–2004». — СПб., 2004.
5. Ивлев М. Л. Применение компенсатора реактивной мощности дискретного типа для управления режимами работы цеховых подстанций судоремонтного предприятия / М. Л. Ивлев // Технологии ЭМС. — 2006. — № 4.
6. Черевко А. И. Исследование особенностей применения компенсатора реактивной мощности дискретного типа в сетях электроснабжения судоремонтного предприятия / А. И. Черевко, Е. В. Лимонникова, М. Л. Ивлев // Сб. докл. V МНТК «Динамика систем, механизмов и машин». — Омск, 2004.
7. Ивлев М. Л. К вопросу выбора параметров компенсатора реактивной мощности дискретного типа для цеховых подстанций судоремонтного предприятия / М. Л. Ивлев // Сб. докл. IX РНТК «ЭМС–2006». — СПб., 2006.

УДК 621.43.018

Д. А. Крылов,
СПГУВК;

Ю. Н. Цветков,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА ОЛОВЯНИСТОЙ БРОНЗЫ В МОТОРНОЕ МАСЛО НА РАБОТУ ДИЗЕЛЯ

INFLUENCE OF SUPERDISPERSED TIN BRONZE POWDER IN MOTOR OIL ON THE PERFORMANCE OF DIESEL ENGINE

Рассмотрены возможные механизмы влияния ультрадисперсного порошка (УДП) оловянистой бронзы, добавленного в моторное масло, на работу дизельного двигателя. Испытаниями на дизеле Д120

(2С10,5/12) показано, что в большинстве случаев добавка УДП не приводит к режиму безызносного трения, при этом индикаторный КПД дизеля возрастает, а механический остается практически нечувствительным к таким добавкам. Экспериментами на модернизированной машине трения СМЦ-2 показано, что, несмотря на отсутствие эффекта металлоплакирования, добавки бронзового УДП в масло снижают величину силы трения в процессе приработки и продолжительность последней. Высказано предположение, что увеличение индикаторного КПД дизеля происходит вследствие попадания частиц бронзового УДП в камеру сгорания дизеля и оказания ими каталитического действия на процесс горения топлива.

The possible mechanisms of the influence of superdispersed tin bronze powder in motor oil on the diesel performance were considered. The tests on the air-cooled diesel 2С10,5/12 showed that, as a rule, the bronze superdispersed powder additive does not result in wearless friction regime, meanwhile the diesel indicated efficiency increases, and mechanical efficiency remains almost insensitive to such an additive. The results of the experiments on friction machine showed that in spite of the absence of the metalplating effect the bronze superdispersed powder additive in oil decreases friction in running-in. It was hypothesized that indicated efficiency grows due to ingress of the bronze powder particles into the combustion chamber, where they act as the combustion catalyst.

Ключевые слова: ультрадисперсный порошок оловянистой бронзы, моторное масло, дизель, износ, трение, индикаторный КПД, механический КПД, удельный эффективный расход топлива, катализатор горения.

Key words: superdispersed bronze powder, motor oil, diesel, wear, friction, indicated efficiency, mechanical efficiency, specific fuel consumption, combustion catalyst.

ВВЕДЕНИЕ. Использование ультрадисперсных порошков (УДП) мягких металлов и сплавов в смазочных маслах (СМ) является одним из направлений повышения работоспособности узлов трения [1–6]. Наибольшее распространение получили порошки меди и медных сплавов [2–5], в частности оловянистой бронзы, которые вводятся в СМ в составе так называемых металлоплакирующих препаратов (МПП). Как правило, МПП — это суспензия УДП одного из вышеуказанных металлов в углеводородном носителе с добавкой поверхностно-активных веществ для предотвращения слипания частиц порошка.

Применение УДП мягких металлов в СМ вызвано стремлением получить эффект безызносного трения (избирательного переноса) в парах трения «сталь–сталь», «сталь–чугун» и др. В таких парах классическая форма избирательного переноса проявиться не может из-за отсутствия условий для металлоплакирования — появления при трении пленкообразующего металла — поэтому такой металл в виде высокодисперсного порошка вводится в смазочную жидкость. Металлоплакирование может протекать или в результате «намазывания» частиц порошка на поверхность и заполнения неровностей, или, в случае отсутствия на поверхностях оксидных пленок, за счет взаимодействия с помощью ван-дер-ваальсовых сил, или образования металлической связи [6, с. 207]. Образовавшаяся на поверхности пленка мягкого металла снижает фактическое давление в зоне контакта и, как следствие, деформационную составляющую трения, при этом создаются условия для существования полимолекулярного граничного слоя [7, с. 176–187], что, в свою очередь, снижает и адгезионную составляющую. Однако режим безызносного трения может быть реализован в определенных условиях, которые далеко не всегда соблюдаются при работе узла трения [8]. В работе [9, р. 240–245], например, указывается, что главными условиями, обеспечивающими устойчивость режима избирательного переноса, являются: низкие значения нагрузок и скоростей скольжения и подавление доступа кислорода к зоне фрикционного контакта. Вопросу же о том, как будут развиваться процессы трения и изнашивания в отсутствие эффекта металлоплакирования, не уделяют должного внимания, и он требует отдельного изучения [10, с. 232–238].

Потребность в детальном изучении действия добавок УДП объясняется и тем, что одна из областей применения МПП — моторные масла для поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Однако сведения об эффективности добавок УДП медных сплавов и положительных проявлениях (если таковые имеются) присутствия УДП в моторных маслах очень противоречивы. Например, в работе [11, с. 33–40] приведены графики, из которых следует, что при добавлении в моторное

масло МПП, содержащего УДП цветных металлов (по всей видимости, медного сплава), механические потери в двигателе снизились на 18 %. Однако, несмотря на утверждения авторов, что в зоне трения происходит формирование пленки, состоящей из компонентов МПП, на рентгенограммах, приведенных авторами для поверхности образцов, испытанных на машине трения при смазывании СМ, содержащим указанный препарат, характеристических пиков цветных металлов, содержащихся в препарате, не выявлено. Справедливости ради надо сказать, что авторами [11] не указаны и режимы проведения рентгенофазового анализа, а ведь глубина проникновения рентгеновских лучей в материал напрямую зависит от угла наклона исследуемой поверхности к направлению первичного луча.

Следует отметить, что опубликованных сведений о механизме действия препаратов, содержащих УДП мягких сплавов, в ДВС чрезвычайно мало. В некоторых фирмах-производителях таких препаратов собираются сведения о результатах применения препаратов, содержащих металлические УДП, в ДВС, но сведения эти, как правило, отрывочны, не отличаются полнотой и их сбор не носит систематический характер. Например, по данным компании «ВМПАВТО» (Санкт-Петербург) [12] после добавки препарата, содержащего УДП оловянистой бронзы, в моторное масло дизельных двигателей грузовых автомобилей Scania 360 чилийской транспортной компании «NEGRETE» потребление топлива снизилось с 0,416 до 0,394 л/км. Аналогичный эффект зарегистрирован на судне «Salar» чилийской компании «FRASAL», на котором установлены два двигателя Caterpillar 2406: потребление топлива после добавки препарата, содержащего УДП оловянистой бронзы, сократилось на 9–15 %. Однако исследований, за счет чего произошло снижение потребления топлива, не проводилось.

Цель работы — разработка рекомендаций по эффективному применению добавок УДП оловянистой бронзы в моторные масла дизелей.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- провести испытания моторного масла с добавками УДП медного сплава и выявить влияние таких добавок на характеристики работы дизельного двигателя в условиях, когда режим избирательного переноса (металлоплакирование) отсутствует;
- провести анализ возможных причин отсутствия металлоплакирующего эффекта при добавках УДП оловянистой бронзы в моторное масло дизелей;
- исследовать на машине трения возможность положительного влияния добавок УДП оловянистой бронзы на трибологические характеристики СМ в условиях трения, неблагоприятных для образования металлоплакирующей пленки с учетом различных факторов (вязкости СМ и концентрации УДП в СМ);
- проанализировать возможные причины влияния добавок УДП на рабочие процессы в дизельном двигателе.

Испытание на стенде. Испытания проводили на стенде ООО «ВМПАВТО» (Санкт-Петербург), созданном на базе дизеля воздушного охлаждения 2Ч10,5/12 [13, с. 57–66]. Испытания проводили на минеральном масле Лукойл Супер Дизель SAE 15W-40 API CF-4/SG при концентрациях УДП оловянистой бронзы в нем: 0; 0,075; 0,225 и 0,30 % по массе. УДП был получен методом плазменной перегонки [4] и содержал, помимо олова (около 5 %), примерно 9 % кислорода в составе различных оксидов. Требуемое количество порошка диспергировали предварительно в небольшом количестве масла И-20А с добавкой поверхностно-активных веществ¹, а уже полученную суспензию добавляли в картер дизеля.

Анализ поверхностей трения цилиндров и поршневых колец (визуальный и с применением оптического микроскопа) не выявил признаков отложения порошка на поверхностях, то есть металлоплакирование отсутствовало.

¹ Помимо жирной кислоты, подготовленная суспензия содержала несколько процентов сукцинимидной присадки и диалкилдитиофосфатов различных металлов. Последние две составляющие были введены исключительно для предотвращения окисления и слипания порошка при хранении. Их присутствие вызвано тем, что УДП добавляли в составе товарного МПП известного состава, но авторы предпочли не упоминать в статье торговые марки. Указанное количество сукцинимидов и диалкилдитиофосфатов пренебрежимо мало по сравнению с количеством аналогичных присадок, уже присутствующих в моторном масле, и не могло оказать какого-либо влияния на результаты эксперимента.

Результаты экспериментов показали, что добавка бронзового УДП приводит к снижению удельного эффективного расхода топлива (рис. 1, а): при оптимальных концентрациях УДП в моторном масле снижение может составить от 4 до 6 % (рис. 1). При этом снижение температуры отработанных газов колеблется от 15 °С на 25-процентной мощности до 29 °С на нагрузке 60 % (рис. 1, б). Исключение — режим на 75-процентной нагрузке, на котором зарегистрирован немного более существенный положительный эффект (рис. 1, а), что можно объяснить особенностями дизеля Д120. Топливный насос высокого давления был отрегулирован таким образом, чтобы минимальное значение удельного эффективного расхода топлива соответствовало работе дизеля на 60-процентной доле мощности, при этом работа дизеля на 75-процентной мощности характеризовалась меньшим коэффициентом избытка воздуха, то есть неполным сгоранием топлива. Этот результат требует дальнейшей проверки, вместе с тем регистрация содержания СО в газах на нагрузке 75 % показала, что их содержание при добавке 0,225 % УДП бронзы в масло снизилось в 3 раза (рис. 1, в).

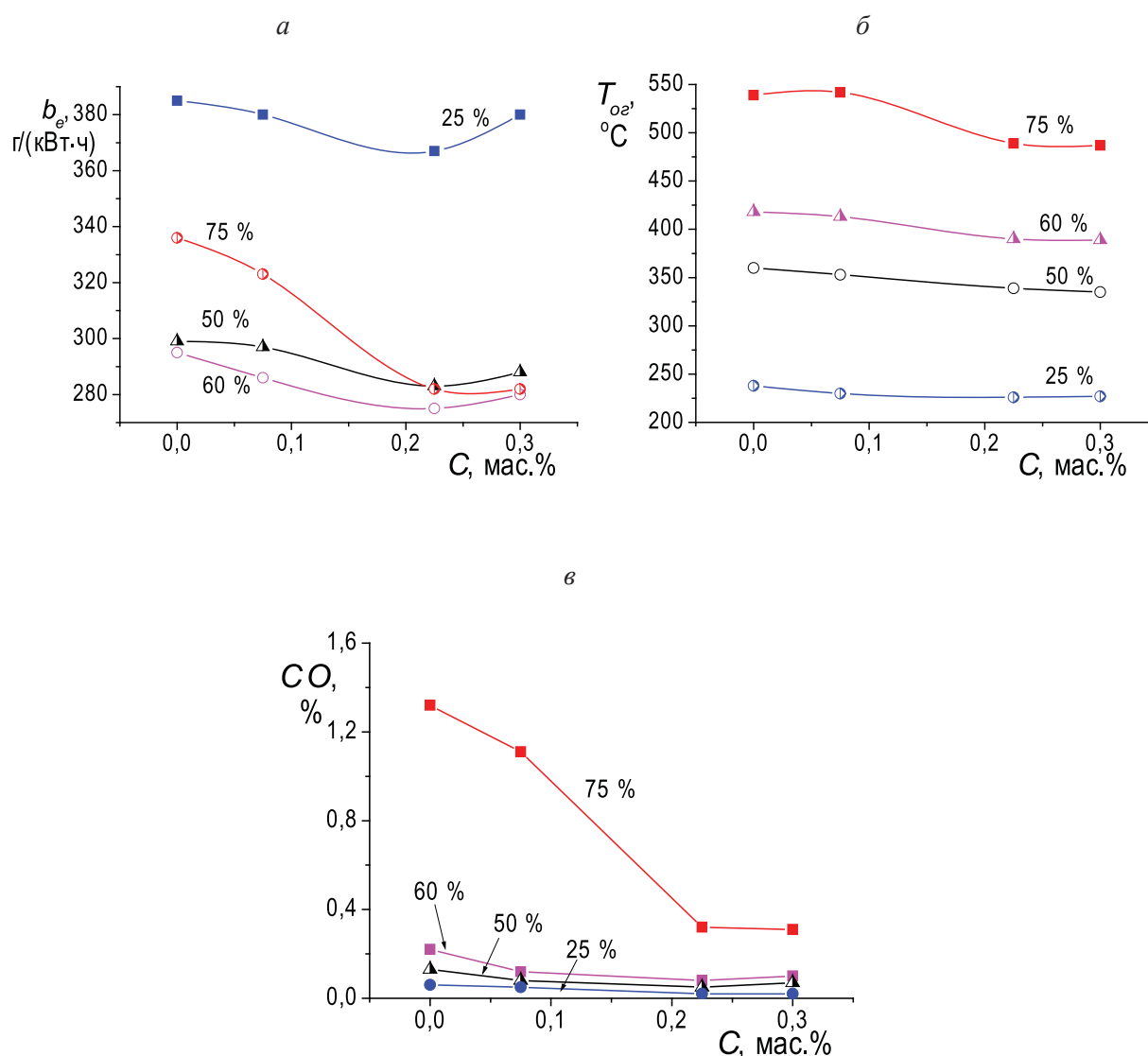


Рис. 1. Изменение удельного расхода топлива (а), температуры отработанных газов (б) и содержания в них монооксида углерода (в) с изменением концентрации бронзового порошка в моторном масле.

Числа на поле рисунка — значения долевого мощности

Погрешность определения средних арифметических значений при доверительной вероятности, равной 80 %, составила: для расхода топлива ± 14 г/(кВт·ч), для температуры газов ± 2 °С на нагрузке 25 % и соответственно ± 2 г/(кВт·ч) и ± 10 °С на 60-процентной нагрузке.

Отмечено, что увеличение эффективного КПД произошло лишь за счет увеличения индикаторного КПД (рис. 2, а), тогда как механический КПД практически не изменился (рис. 2, б). Малая чувствительность механического КПД к содержанию УДП в масле подтверждается и результатами измерения механических потерь методом проворачивания коленчатого вала дизеля от электродвигателя (рис. 3).

Погрешность определения средних арифметических значений индикаторного и механического КПД не превышала $\pm 0,01$ при доверительной вероятности, равной 80 %.

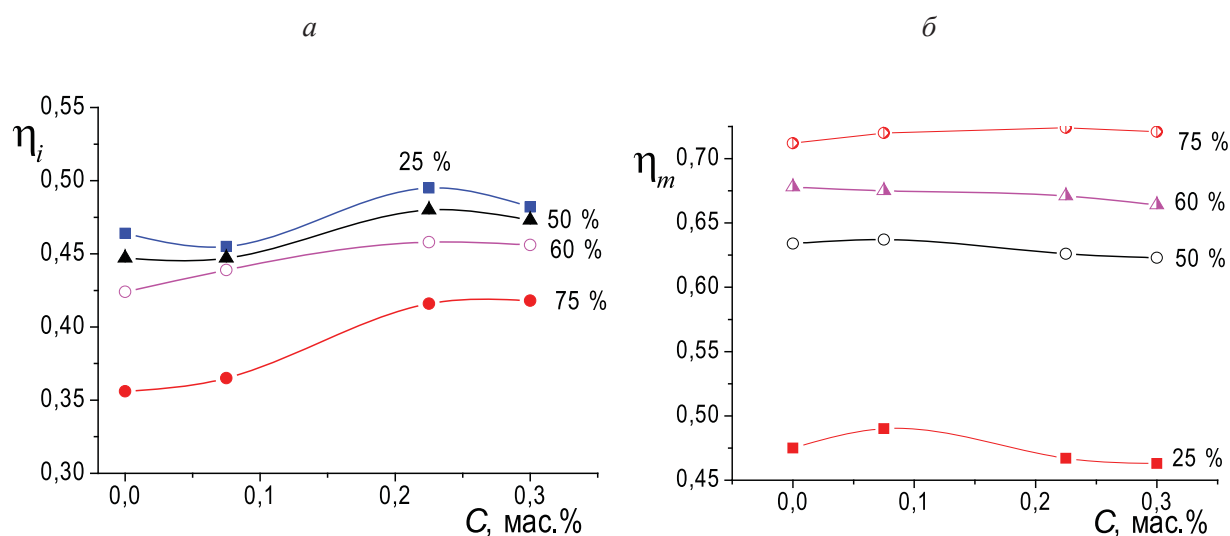


Рис. 2. Изменение индикаторного (а) и механического (б) КПД с изменением концентрации бронзового порошка в моторном масле.

Числа на поле рисунка — значения долевой мощности

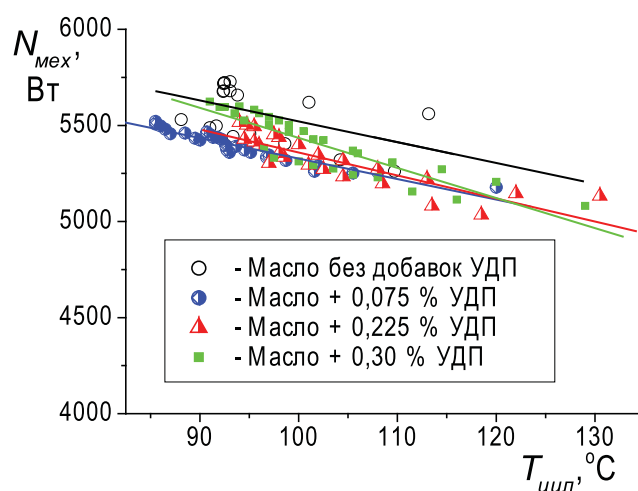


Рис. 3. Зависимость мощности механических потерь, определенных методом проворачивания коленчатого вала, от температуры стенок цилиндров и концентрации УДП бронзы в моторном масле

Присутствие УДП бронзы в моторном масле в целом положительно влияет на износостойкость поршневых колец и цилиндров (рис. 4), за исключением верхних поршневых колец (рис. 4, а): их износ при сравнительно небольших концентрациях УДП в масле незначительно возрастает.

Эксперименты также показали, что добавки УДП бронзы не влияют на величину p_c давления в конце такта сжатия. После приработки поршневых колец, давление p_c остается практически постоянным, а его незначительное изменение не выходит за пределы, обусловленные изменением относительного расположения стыка поршневых колец при их поворачивании.

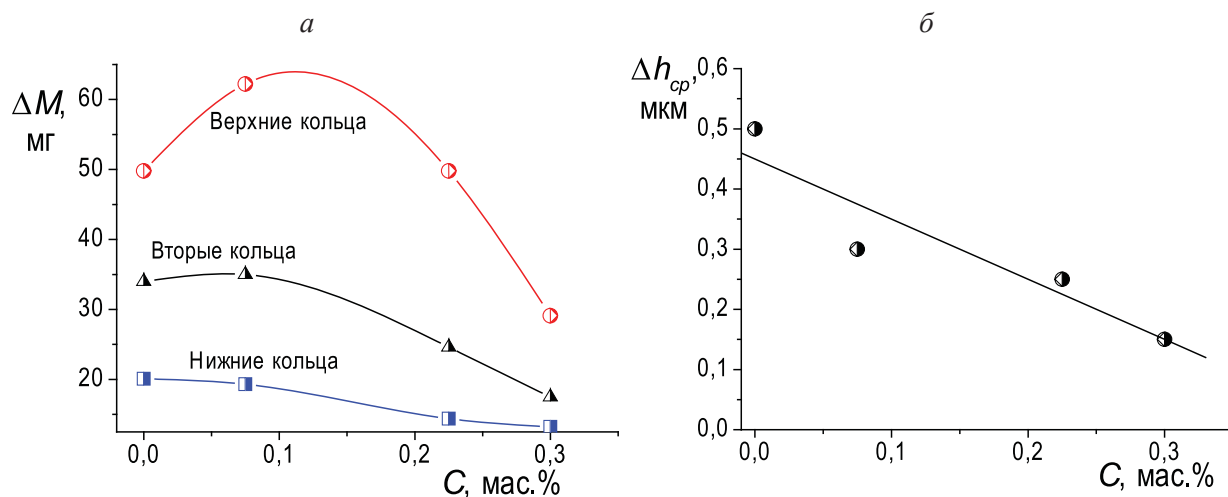


Рис. 4. Изменение износа (среднего по двум цилиндрам) поршневых колец, определенного взвешиванием, и износа цилиндров, определенного методом вырезанных лунок, с увеличением концентрации УДП оловянистой бронзы в моторном масле дизелей

Исследования специфических факторов, которые могли бы препятствовать проявлению металлоплакирующего эффекта в дизеле при работе моторного масла с добавками УДП, позволили установить следующее [14, с. 13–19; 15, с. 296–303]:

— отсутствие эффекта металлоплакирования при наличии УДП оловянистой бронзы в моторном масле не может быть объяснено тем, что в дизеле основные потери на трение приходятся на жидкостный режим смазки, так как, наоборот, потери на трение в ДВС, приходящиеся на граничный режим смазки, в несколько раз превышают потери на трение при жидкостном режиме смазки;

— масляные фильтр и центрифуга задерживают лишь меньшую часть (от 25 до 40 %) частиц бронзового порошка с размером конгломератов частиц около 1 мкм, что недостаточно для блокировки металлоплакирующего действия, если бы имелись условия для реализации такового.

Эксперименты на машине трения. На машине трения СМЦ-2 были проведены исследования того, оказывает ли УДП бронзы в СМ при трении в условиях, когда металлоплакирование отсутствует, положительное влияние на характеристики трения, и если оказывает, то какое и как оно зависит от условий трения. Испытания проводили на модернизированной машине трения СМЦ-2 по схеме «вращающийся ролик–неподвижная пластинка» [16]. После приработки обеспечивалось постоянство коэффициента взаимного перекрытия трущихся образцов по значению, близкому к реализуемому в сопряжении «поршневое кольцо–втулка цилиндра». Ролики диаметром 50 мм и шириной 12 мм изготавливались из серого чугуна СЧ30, а пластинка толщиной 2 мм и шириной 10 мм — из высокоуглеродистой стали 65Г. Частота вращения ролика составляла 300 об/мин. В ходе испытаний фиксировали температуру зоны трения и нагрузку в контакте, причем контроль температуры осуществляли с помощью термопары, которая вставлялась в неподвижную пластину на расстоянии 1,0–1,5 мм от рабочей поверхности в отверстие диаметром 0,5 мм. Смазывание осуществлялось погружением части вращающегося ролика в ванночку, заполненную маслом.

Опыты проводились с использованием теории планирования эксперимента с использованием масла И-40А, в которое добавлялся УДП оловянистой бронзы в количестве: 0, 1 и 2 % по массе. УДП был получен с применением пароструйной технологии [17, с. 97–99] и содержал 0,84 % Sn, 1,46 % Zn и 2,51 % O. Вязкость масла И-40А варьировалась на трех уровнях 20,3; 36,6 и 52,9 мПа·с, что обеспечивалось поддержанием с помощью трубчатого электронагревателя температуры масла И-40А в ванночке, равной значениям: 65,0, 50,8 и 41,6 °С соответственно.

Во все смазочные композиции в качестве поверхностно-активного вещества добавляли 0,25 % олеиновой кислоты. После добавки УДП и олеиновой кислоты в объем масла, предназначенный для испытаний, полученную суспензию подвергали обработке на ультразвуковом диспергаторе в течение 1 мин для разбиения крупных конгломератов частиц УДП и равномерного распределения их по объему масла. После ультразвуковой обработки средний размер конгломератов частиц порошка оловянистой бронзы составлял 1,0–1,5 мкм. В результате экспериментов определяли силу трения.

Первоначально перед основной серией опытов была проведена оценка количества бронзы, которое откладывается на поверхностях трения (табл. 1). Трение осуществлялось при усилии, прижимающем пластинку к ролику, равном 560 Н. Температура масла в процессе испытаний поддерживалась постоянной и равной 65 °С. Продолжительность трения — 1 ч.

Результаты микрорентгеноспектрального анализа показали (табл. 1), что медь (как основной компонент бронзы) на поверхности испытанных образцов при концентрациях УДП в масле до 10 % обнаруживается лишь на площади, не превышающей доли процента от площади поверхности трения, то есть условия для металлоплакирования отсутствовали, и лишь при увеличении концентрации УДП в масле более 15 % процесс закрепления бронзы на поверхности существенно интенсифицировался, похоже, за счет создания более благоприятных условий для механического намазывания частиц бронзы на поверхность.

Таблица 1

**Зависимость количества меди на поверхности трения пластинки
от концентрации УДП бронзы в масле**

Концентрация УДП бронзы в масле И-40А, % мас.	Количество меди на поверхности трения, % по площади
0	0
0,3	0,02
1	0,19
15	1,26
32,5	6,37
50	20,03

Как видно из рис. 5, добавка УДП бронзы привела к существенному снижению максимальной силы трения, достигаемой в процессе приработки, при этом период приработки сократился.

Частицы бронзового УДП в СМ подобны частицам износа, образующимся при трении, однако пластичные частицы бронзы действуют по-другому: они легко деформируются на фактических пятнах контакта, снижая давление и уменьшая адгезионное взаимодействие поверхностей. Похожие результаты получены в работе [10] при добавке в масло УДП меди в условиях трения, когда режим безыносного трения не реализуется. Причем применение медного УДП оказалось эффективным при нагрузках, обеспечивающих пластическую деформацию частиц меди, при малых же нагрузках добавка медного УДП не улучшила антифрикционные свойства масла при приработке.

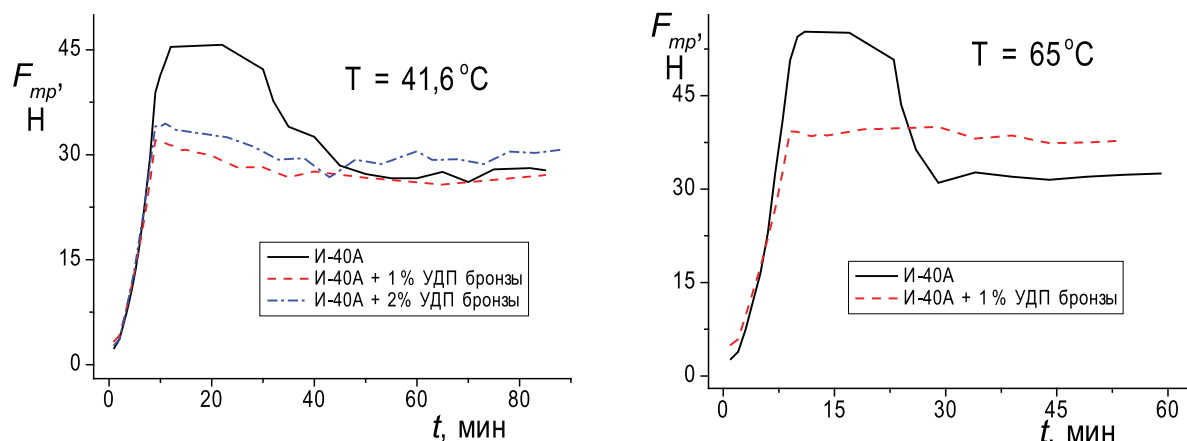


Рис. 5. Влияние концентрации УДП оловянистой бронзы, добавленного в масло И-40А, на изменение силы трения в процессе приработки (на поле рисунков указана температура смазочной композиции)

После приработки образцов, варьируя нагрузку от 520 до 30 Н, строили диаграммы Герси–Штрибека (рис. 6), что позволяло судить о режимах смазки (границная или гидродинамическая). Оценка коэффициента трения как основного показателя антифрикционных свойств испытываемых образцов производилась осреднением его значения в пределах зоны граничного режима смазки, условно ограниченного значениями Z_1 и Z_2 (рис. 6):

$$f_{\text{тр}} = \frac{S}{(Z_2 - Z_1)},$$

где S — площадь под кривой $f_{\text{тр}} = f(Z)$, ограниченная областью граничной смазки, Z — обратное значение погонной нагрузки P ; Z_1 и Z_2 — предельные значения параметра Z , ограничивающие зону граничной смазки по оси абсцисс.

Обработка экспериментальных данных позволила построить следующую модель зависимости коэффициента трения от концентрации УДП в масле и вязкости СМ:

$$f_{\text{тр}} = 0,058 - 5,3 \cdot 10^{-3} \cdot C + 5,6 \cdot 10^{-4} \cdot \eta - 4,6 \cdot 10^{-5} \cdot C \cdot \eta + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot C^2 - 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot \eta^2, \quad (1)$$

где $f_{\text{тр}}$ — коэффициент трения, C — концентрация УДП бронзы (% мас.), η — динамическая вязкость масла (мПа·с).

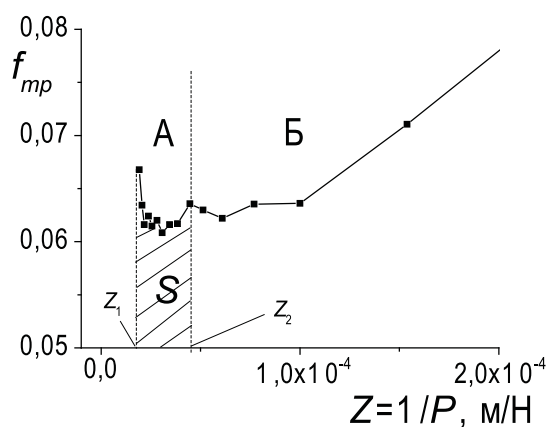


Рис. 6. Пример кривой Герси–Штрибека, построенной по результатам опытов:
А — условная зона граничной смазки; Б — условная зона гидродинамической смазки

Анализ полученной модели показывает, что наименьшее значение коэффициента трения достигается при добавлении в масло около 1,0 % УДП при температуре смазочной среды 41,6 °C (рис. 7, а).

На рис. 7, б показана зависимость относительной величины коэффициента трения (в % от коэффициента трения, получаемого при работе на масле без добавок УДП бронзы) при 1,0 % УДП, то есть концентрации, соответствующей минимальному значению трения на рис. 7, а. Если сделать незначительную экстраполяцию зависимости (1) в область температур, более низких, чем использовались в настоящих опытах, то будет видно, что коэффициент трения становится особенно чувствительным к температуре СМ, а значит, и его вязкости при температурах ниже 40 °С. Таким образом, положительный эффект от применения добавок УДП бронзы тем больше, чем больше вязкость масла.

Слабая зависимость коэффициента трения от концентрации бронзового УДП (рис. 7, а) обусловлена чрезвычайно малым зазором между поверхностями приработанной пары трения, что препятствует проникновению частиц порошка в зону трения. Результаты, представленные на графике (рис. 7, а), в целом согласуются с результатами испытания масла с добавками бронзового УДП в дизеле (см. рис. 2, б и в).

В опытах оценивали также износ образцов-пластинок после испытаний в течение 4 часов в масле с разной концентрацией порошка и разных температурах. При определенной температуре масла и концентрации УДП в нем каждая пластинка работала от начала испытаний до конца, включая период приработки и регистрацию кривой Герси–Штрибека. Взвешивание пластинок на аналитических весах с точностью 0,15 мг до и после испытаний показало, что концентрации УДП в масле, равной 1 %, соответствует минимум износа, который при указанной концентрации становится пренебрежимо малым по сравнению с износом, получаемым при трении в масле без добавки УДП (рис. 8).

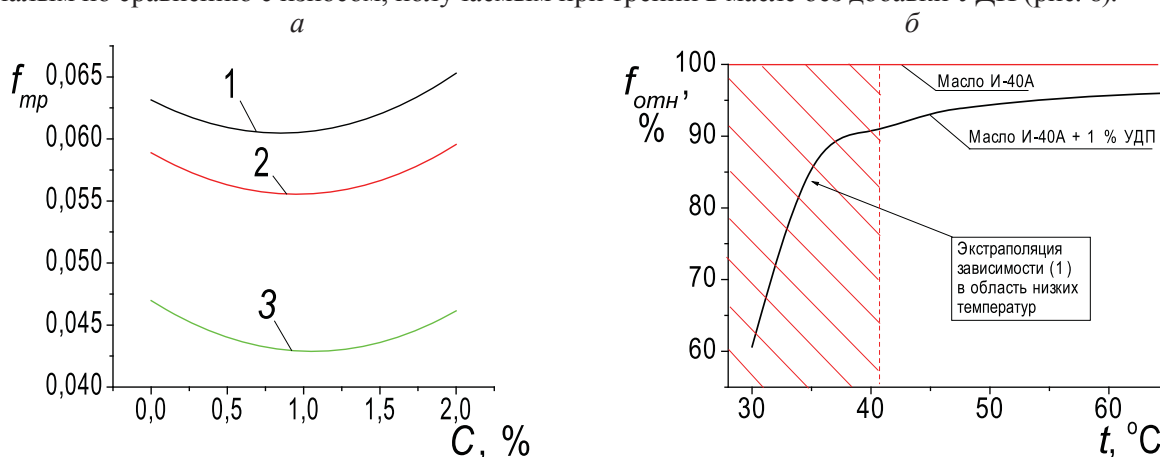


Рис. 7. Влияние температуры масла И-40А с добавлением УДП оловянистой бронзы на антифрикционные свойства масла: а — зависимость коэффициента трения от концентрации УДП в масле при 65 (1); 50,8 (2) и 41,6 °С (3); б — зависимость относительной величины коэффициента трения от температуры масла с добавкой 1 % УДП бронзы

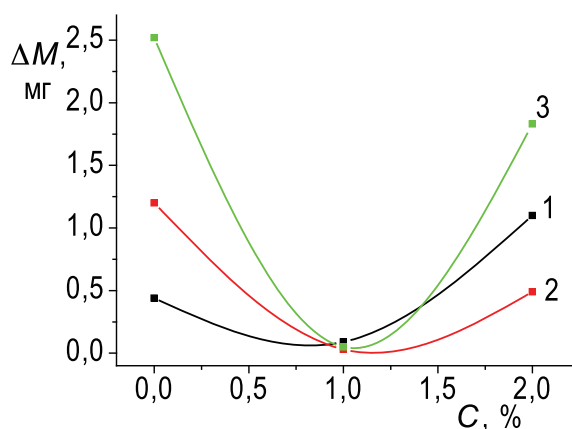


Рис. 8. Износ образцов-пластинок в зависимости от концентрации УДП бронзы в масле И-40А при температуре смазочной композиции, равной 40,6 (1); 50,8 (2) и 65 °С (3)

Таким образом, присутствие УДП оловянистой бронзы в моторном масле даже в концентрациях значительно меньших 1 % может существенно снизить износ узлов трения, работающих в режиме гидродинамической смазки, в моменты пуска и остановки дизеля.

Анализ причин влияния добавок УДП на индикаторный КПД дизеля. Значение индикаторного КПД зависит от множества факторов. Добавка десятых долей процента бронзового УДП в масло оказывает, вероятно, влияние на полноту сгорания топлива. Известно, что медь является катализатором горения и снижает энергию активации реакций окисления, происходящих в камере сгорания ДВС [18, с. 23–24]. Попадая в камеру сгорания дизеля с маслом, частицы бронзы могут оказывать каталитическое действие.

Результаты обработки индикаторных диаграмм показали, что при добавлении бронзового УДП прослеживается тенденция к увеличению угла опережения воспламенения (за исключением режима на долевой мощности 75 %) (рис. 9, а). По всей видимости, частицы бронзы снижают энергию активации реакций окисления, происходящих в камере сгорания дизеля. На 75-процентной нагрузке получилось наибольшее снижение удельного расхода топлива (см. рис. 1), а снижение подачи топлива в камеру сгорания приводит, наоборот, к задержке воспламенения, и влияние этого фактора более существенно, чем каталитическое действие бронзового порошка.

Следствием снижения энергии активации является возможность проведения процесса окисления горючего, обеспечение полноты его сгорания при более низких температурах. Снижение удельного расхода топлива и понижение температуры в камере сгорания должно привести к уменьшению максимального давления в ней и, следовательно, к снижению жесткости работы двигателя (рис. 9, б).

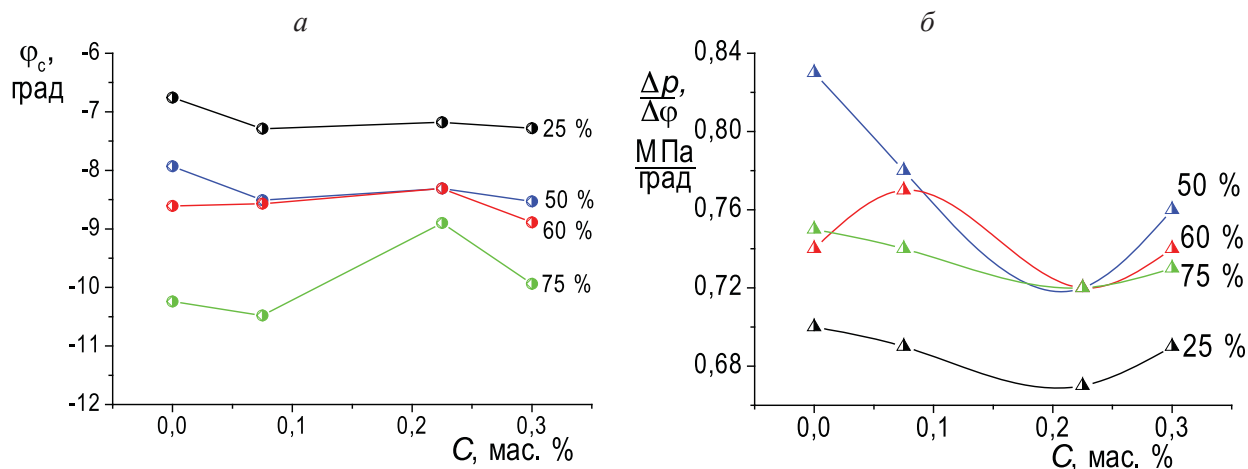


Рис. 9. Зависимости угла опережения воспламенения (а) и средней скорости нарастания давления (б) от концентрации УДП оловянистой бронзы в моторном масле.

Числа на поле рисунка — значения долевых мощностей

Косвенным доказательством каталитического действия частиц бронзового УДП является более существенное снижение расхода топлива на 75-процентной нагрузке (см. рис. 1, а), который характеризовался из-за особенностей регулировки топливного насоса меньшими коэффициентами избытка воздуха и более существенной неполнотой сгорания топлива (см. выше): в этих условиях положительное действие добавок УДП проявилось более выражено.

К сожалению, из-за больших погрешностей в определении перечисленных параметров по индикаторным диаграммам полностью подтвердить высказанную гипотезу о попадании частиц бронзового УДП с маслом в камеру сгорания и их каталитического действия на процесс горения топлива не удалось: этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Выводы

1. Реализация эффекта безызносности при добавке в масло УДП оловянистой бронзы и, как следствие, образование металлоплакирующей пленки на поверхности требуют наличия определенных условий, контролировать которые очень сложно, поэтому в большинстве случаев трение с маслом, содержащим УДП оловянистой бронзы, осуществляется при отсутствии эффекта металлоплакирования.
2. Добавка УДП оловянистой бронзы в моторное масло дизеля приводит к снижению удельного расхода топлива, что вызвано увеличением индикаторного КПД дизеля, тогда как механический КПД остается практически постоянным.
3. Применение УДП оловянистой бронзы в качестве добавки к маслам приводит к уменьшению силы трения в процессе приработки и продолжительности последней, что делает целесообразным применение таких добавок при обкатке дизелей.
4. Добавка УДП оловянистой бронзы в масло, смазывающее приработанные поверхности, снижает трение на 5–7 %. Положительный эффект от применения добавок УДП бронзы тем больше, чем больше вязкость масла.
5. Износ образцов при добавке 1 % УДП оловянистой бронзы в масло становится пренебрежимо малым по сравнению с износом в масле без добавки, поэтому присутствие УДП бронзы в моторном масле даже в концентрациях значительно меньших 1 % может существенно снизить износ узлов трения, работающих в режиме гидродинамической смазки, в моменты пуска и остановки дизеля.
6. Предложена гипотеза, что повышение индикаторного КПД дизеля при добавке в его моторное масло УДП оловянистой бронзы вызвано тем, что частицы бронзы, попадающие с маслом в камеру сгорания, оказывают каталитическое действие на процесс сгорания топлива.

Список литературы

1. Кужаров А. С. Металлоплакирующие смазочные материалы / А. С. Кужаров, Н. Ю. Онищук // Долговечность трущихся деталей машин. — 1988. — Вып. 3. — С. 96–143.
2. Воздействие ультрадисперсных порошков медного сплава на стальную поверхность в процессе трения И. В. Фришберг [и др.] // Докл. Академии наук. Техническая физика. — 1999. — Т. 365, № 5. — С. 621–624.
3. Влияние ультрадисперсного порошка сплава Cu–Sn на массоперенос при трении скольжения / В. В. Харламов [и др.] // Трение и износ. — 1999. — Т. 20, № 3. — С. 333–338.
4. Сафонов В. В. Повышение долговечности ресурсосберегающих агрегатов мобильной сельскохозяйственной техники путем применения металлсодержащих смазочных композиций: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — Саратов, 1999. — 36 с.
5. Фришберг И. В. Механизм воздействия противоизносной добавки Римет на работу пары трения «чугун–хром» / И. В. Фришберг, Л. В. Золотухина, В. В. Харламов [и др.] // Трение и износ. — 2000. — Т. 21, № 1. — С. 101–107.
6. Избирательный перенос в тяжело нагруженных узлах трения / Д. Н. Гаркунов [и др.]. — М.: Машиностроение, 1982.
7. Фукс Г. И. Полимолекулярная составляющая граничного смазочного слоя / Г. И. Фукс // Исследования в области поверхностных сил: сб. докл. II конф. по поверхностным силам (апрель 1960 г.) — М.: Наука, 1964.
8. Беляев С. А. Механическое легирование стали 45 добавками нанопорошков пластичных металлов при трении / С. А. Беляев // Трение, износ, смазка. — 2004. — Т. 6. — Вып. 23. (<http://www.tribo.ru>)

9. *Kuranov V.* Unity and contrast of normal oxidizing friction and selective transfer / V. Kuranov, A. Vinogradov, S. Mironov // *Zagadnienia eksploatacji maszyn. Zeszyt 2 (114).* — 1998. (Polska).
10. Влияние УДП присадки меди в смазке на процессы трения и изнашивания / А. В. Колубаев [и др.] // *Вестник ТГАСУ.* — 2000. — № 2.
11. Влияние наноструктурных материалов на трибологические свойства моторного масла / В. В. Сафонов [и др.] // *Трибология и надежность: тр. VII Междунар. конф., 4–6 октября 2007 г., Санкт-Петербург.* — СПб.: Петерб. гос. ун-т путей сообщения, 2007.
12. *Погодаев Л. И.* Структурно-энергетические модели надежности материалов и технических средств / Л. И. Погодаев, А. А. Кузьмин. — СПб.: СПГУВК, 2010. — 123 с.
13. Дизельный стенд для испытания смазочных материалов / Ю. Н. Цветков [и др.] // *Журнал университета водных коммуникаций.* — СПб.: СПГУВК, 2011. — Вып. 3 (11).
14. *Цветков Ю. Н.* Соотношение потерь на трение, приходящихся на граничный и гидродинамический режимы смазки в двигателях внутреннего сгорания / Ю. Н. Цветков, Д. А. Крылов, А. А. Татулян // *Двигателестроение.* — 2010. — № 1.
15. *Крылов Д. А.* Эффективность применения препаратов, содержащих высокодисперсный порошок бронзы, в качестве добавок в моторные масла дизелей / Д. А. Крылов, Ю. Н. Цветков // *Водный транспорт России: инновационный путь развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 6–7 октября 2010 г.* — СПб.: СПГУВК, 2011. — Т. 2.
16. Пат. № 102803. Машина трения с приводом вращения / Д. А. Крылов, Ю. Н. Цветков. Опубл. 10.03.2011.
17. *Пастухов В. П.* Установка для получения ультрадисперсных порошков меди и сплава медь–олово методом испарения и конденсации / В. П. Пастухов, А. В. Пастухов, С. С. Набойченко // *Цветные металлы.* — 2004. — № 4.
18. Катализаторы горения для бензинов и дизельных топлив / Д. В. Сердюк [и др.] // *Автомобильная промышленность.* — 2001. — № 5.

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

УДК 629.12.03.001.63

А. Г. Даниловский,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК;

А. А. Иванченко,
аспирант,
СПГУВК;

Мью Чжо Ту,
аспирант,
СПГУВК

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВОЙ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

ANALYSIS OF THE METHODS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF THE SHIP AUXILIARY BOILER INSTALLATION

Применение отдельных схем утилизации вторичных энергоресурсов обеспечивает получение большего количества тепловой энергии в виде пара или горячей воды. Это в свою очередь позволяет сократить или полностью исключить затраты топлива на вспомогательную котельную установку на длительных ходовых и стояночных режимах эксплуатации транспортных судов, снизить загрязнение окружающей среды, получить экономический эффект не только на сухогрузном судне, но даже на танкере, перевозящем тяжелые нефтепродукты.

Using the separate schemes of salvaging of secondary power resources provides the receiving of greater amount of heat energy in the form of steam or hot water. This, in turn, allows to shorten or completely exclude the fuel consumption for auxiliary boiler installation for running and parking modes of ships, reduce environment contamination, get the economic effect not only for dry cargo ships, but for tankers carrying heavy oil products.

Ключевые слова: установка, тепловая энергия, суда, эффективность, повышение, методы, топливо, экономия, среда, загрязнение, снижение.

Key words: installation, heat energy, ship, efficiency, increasing, methods, fuel, economy, ambience, contamination, reduction.



АК показано в работе [1], традиционная схема питания потребителей тепловой энергии на судне паром из общей магистрали, представленная на рис. 1, не обеспечивает глубокой утилизации теплоты вторичных энергоресурсов, что приводит к необходимости покрытия недостающих потребностей за счет сжигания топлива во вспомогательных котлах. Это не только приводит к дополнительным затратам на топливо, но и определяет дополнительные выделения веществ, загрязняющих окружающую среду. В случае же применения отдельных схем питания потребителей паром с параметрами, соответствующими их потребностям, появляется возможность полностью исключить работу вспомогательных котлов на топливе на длительных ходовых режимах. Это характерно не только для сухогрузных судов, потребности которых в паре не так велики и вполне могут покрываться утилизационными котлами, но и на танкерах, перевозящих тяжелые нефтепродукты и нефти с высоким содержанием парафинистых фракций. На таких судах расходы греющего пара на порядок больше, чем на сухогрузных судах.

Получение большего количества греющего пара может быть обеспечено в случае применения отдельных схем питания потребителей, один из вариантов которых представлен на рис. 2. Греющий пар получается здесь в основном за счет использования утилизационных устройств, использующих вторичные энергоресурсы — теплоту рабочих тел, отработанную в главных двигателях.

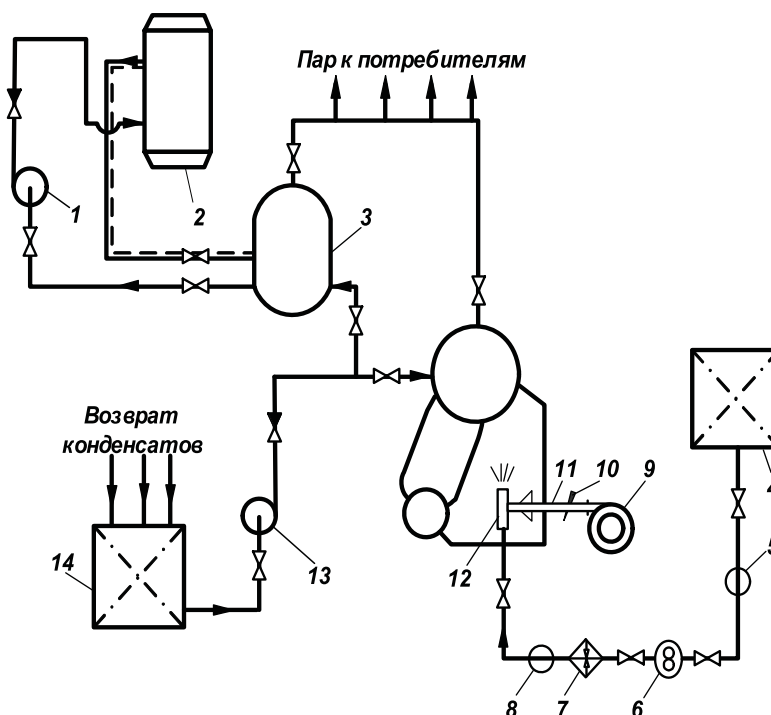


Рис. 1. Объединенная вспомогательная котельная установка:

- 1 — циркуляционный насос УК; 2 — утилизирующий котел (УК); 3 — сепаратор пара УК;
4 — отстойно-расходная топливная цистерна; 5, 8 — фильтры холодного и горячего топлива;
6 — топливный насос; 7 — топливоподогреватель; 9 — котельный вентилятор; 10 — воздушные заслонки;
11 — воздухопровод; 12 — форсунки; 13 — питательный насос; 14 — теплый ящик

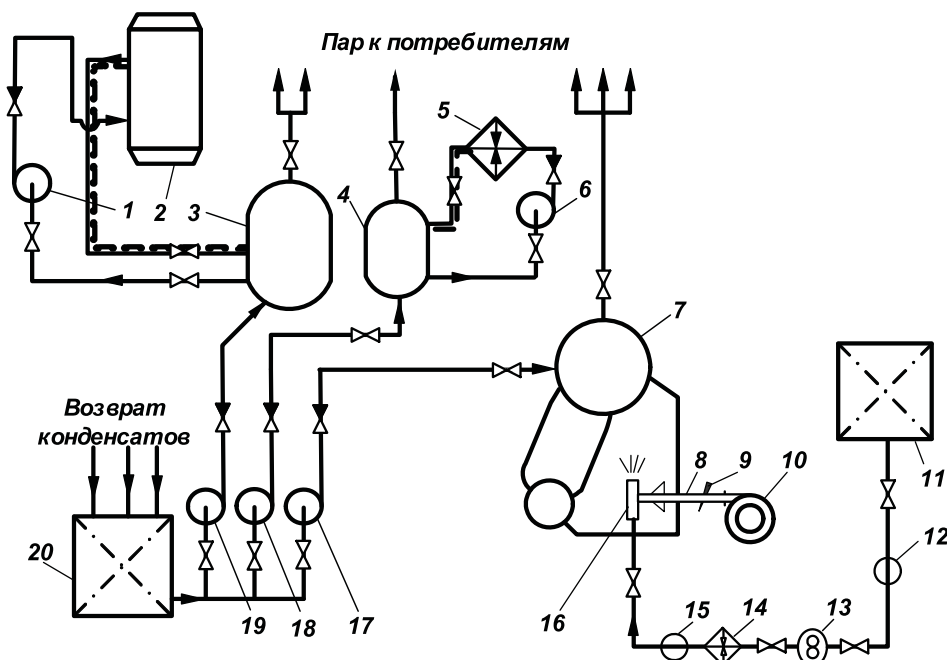


Рис. 2. Раздельная система питания потребителей паром:

- 1, 6 — циркуляционные насосы УК и ВТС; 2 — утилизирующий котел (УК); 3 — сепаратор пара УК;
4 — сепаратор пара ВТС; 5 — высокотемпературная секция охлаждения продувочного воздуха (ВТС);
7 — вспомогательный котел (ВК); 8 — воздухопровод; 9 — воздушные заслонки; 10 — котельный вентилятор;
11 — отстойно-расходная топливная цистерна; 12, 15 — фильтры холодного и горячего топлива;
13 — топливный насос; 14 — топливоподогреватель; 16 — форсунки; 17 — питательный насос ВК;
18 — питательный насос ВТС; 19 — питательный насос УК; 20 — теплый ящик

Основная причина недостаточной эффективности объединенных схем (рис. 1) состоит в выработке всего количества пара с температурой, необходимой для подогрева потребителя с наиболее высокой температурой подогрева. Таким потребителем [2] обычно является тяжелое топливо, сжигаемое в главных двигателях на длительных и стабильных режимах эксплуатации судна.

По мере роста потребностей в нефтепродуктах цена топлива повышается, что приводит к необходимости сжигать более дешевое и более вязкое топливо, требующее все большего подогрева для снижения его вязкости перед впрыском в цилиндры двигателей. В настоящее время все двигатели разрабатываются для работы на наиболее вязком топливе по классификации ISO – RMK55 с вязкостью 700 сСт при 50 °С (мазут М-100 в соответствии с отечественным стандартом).

Необходимая температура подогрева отечественных марок тяжелого топлива приведена в табл. 1.

Таблица 1

Температура топлива при обработке и использовании, °С

Марки топлива	Перед		
	перекачкой	сепарацией	форсунками
Моторное ДТ	5–10	40–60	65–75
Флотский мазут Ф-8	5–10	40–60	65–75
Флотский мазут Ф-12	10–25	55–80	90–95
Дизельный мазут ДМ	35–50	80–95	100–110
Топочный мазут М-40	60–70	110–120	130–135
Топочный мазут М-100	80–90	130–140	150–155

Любая система подогрева требует наличия температурного напора — превышения температуры греющей среды над нагреваемой. В системах с насыщенным паром, когда температура пара при испарении и конденсации не меняется, температурный напор прямо принимать на уровне 25–30 °С, что позволяет получить умеренные площади поверхностей теплообмена.

Таким образом, для использования мазута М-100 в качестве топлива для дизелей необходим подогрев этого топлива до 150–155 °С и температура греющего пара должна быть не ниже 180 °С. Для получения пара с такой температурой выхлопные газы на выходе из утилизационного котла УК не могут иметь температуру ниже 210 °С. Пар используется насыщенный, ввиду его преимуществ в системах подогрева. В табл. 2 приведена вырезка из таблиц пара и воды (состояние насыщения по давлениям) в диапазоне, актуальном для судовой энергетики.

Таблица 2

Параметры насыщения воды и водяного пара

Давление, кг/см ²	Температура, °С
1	99,1
1,5	110,8
2	119,6
2,5	126,8
3	132,9
4	142,9
5	151,1
6	158,1
8	169,6
10	179

На морских транспортных судах широко используются малооборотные дизели. У последних температура выхлопных газов на длительном ходовом режиме при поступлении в УК не превышает 230–235 °С [3]. Охлаждая эти газы до 210 °С, можно получить лишь незначительное количество пара. И это является следствием объединения пара ВК и УК. Если их сделать независимыми, то в УК может быть получено намного большее количество пара, пусть более низких параметров, но полезного для значительного числа потребителей на судне.

Требования потребителей к параметрам рабочего тела (его температуре и расходу) в системе подогрева различаются существенно. В табл. 3 приведены паровые нагрузки танкера пр. 17120 на длительном ходовом режиме. Именно на таком режиме ввиду его большой длительности следует получить максимальное количество тепловой энергии от системы утилизации тепловых потерь главного двигателя, что позволит уменьшить эксплуатационные расходы и снизить загрязнение окружающей среды вредными компонентами выхлопных газов (CO_2 и SO_2 , продуктами химического и механического недожога).

Таблица 3

Паровые нагрузки танкера пр. 17120 на длительном ходовом режиме

№ п/п	Наименование потребителей	$W_{\text{ном}}$, кг/ч
1	Обогрев цистерн запаса тяжелого топлива	383
2	Обогрев отстойных цистерн тяжелого топлива	120
3	Обогрев расходных цистерн тяжелого топлива	200
4	Подогрев топлива перед сепарацией	120
5	Подогреватели топлива ГД	70
6	Подогреватели топлива ДГ	100
7	Подогреватели пресной воды ДГ	200
8	Подогреватели пресной воды ГД	200
9	Обогрев циркуляционной масляной цистерны ГД	120
10	Подогреватель масла ДГ	150
11	Подогреватель топлива ВПГ	62
Итого по группе 1: Механизмы и аппараты СЭУ		509
12	Система кондиционирования воздуха	450
13	Общесудовая вентиляция	785
14	Паровое отопление	150
15	Хозяйственное пароснабжение	400
16	Обогрев балласта	1515
17	Обогрев груза	1600
18	Разогрев груза	3950
19	Подогрев забортной воды для мойки танков	5000
Итого по группе 2: Механизмы и аппараты судовых систем		2762
Итого в сумме по группам 1 и 2		3271
Итого в сумме с 3 % утечек		3369
Количество и нагрузка работающих ПГ		УПГ300 + ВПГ3000
Количество и производительность резервных ПГ		ВПГ 6300

Как видно из табл. 3, наибольшее количество пара расходуется на подогрев перевозимого груза, подогрев и увлажнение воздуха в системах вентиляции и кондиционирования. Все эти потребители нуждаются в значительно более низкой температуре пара, чем та, которая нужна для подогрева тяжелого топлива для сжигания в главных двигателях. Для последнего необходимо менее 240 кг/ч пара. И из-за этого небольшого количества пара приходится держать повышенное давление во всей системе и недополучать пар в системе утилизации теплоты выхлопных газов.

На танкерах могут перевозиться различные грузы, причем в разных рейсах разные. Система подогрева груза должна быть рассчитана на наиболее вязкий груз, перевозка которого на данном судне вероятна. К таким грузам относятся мазуты.

Система подогрева перевозимого груза должна обеспечивать поддержание температуры груза на уровне, превышающем температуру застывания не менее чем на 5–10 °С. Кроме того, эта температура подогрева должна быть ниже температуры вспышки паров жидких грузов на 15 °С. Таким образом, вязкие грузы следует подогревать теплоносителем от утилизационных устройств до температуры не выше 30–40 °С и для этого нужно иметь температуру теплоносителя не ниже 60–70 °С.

Это может быть вода с атмосферным давлением и не обязательно кипящая. Конечно, пар более удобен в использовании, так как не нуждается в насосе для перемещения рабочего тела. Пар с атмосферным давлением имеет температуру 100 °С. Этого достаточно по сравнению с водяной системой с минимально необходимой температурой, так как температурный напор увеличен, а площади греющих змеевиков могут быть уменьшены. Такой пар в системе утилизации получить несложно и в большом количестве.

Максимально возможное количество пара в системе утилизации теплоты выхлопных газов ограничивается наличием в выхлопных газах сернистых соединений. Зависимость точки росы от содержания серы в топливе приведена на рис. 3.

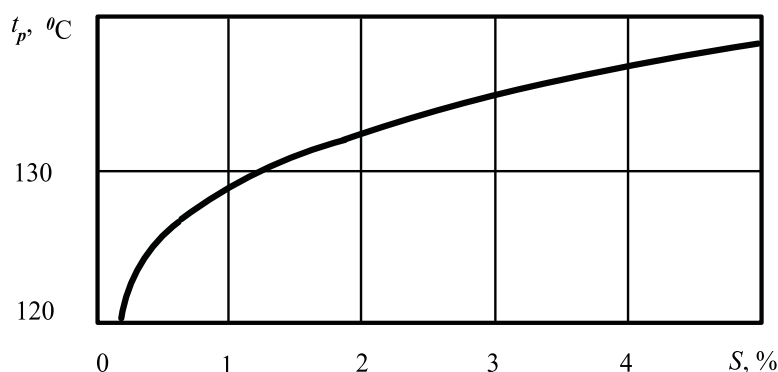


Рис. 3. Зависимость точки росы от содержания серы в топливе

При наибольшем (по ГОСТу) содержании серы до 4,5 % соответствующая точка росы составляет 137 °С и возможно снижение температуры газов только до 145 °С (запас необходим для обеспечения переменных режимов). Это позволит получить в 4 раза больше пара от утилизационного котла, чем в случае представленной на рис. 1 объединенной системы снабжения судна паром.

Следует, однако, помнить, что температуры точки росы должны достигать не газы, а рабочее тело, отбирающее от газов теплоту, так как конденсация водяных паров и образование кислоты происходит на поверхности трубки, а термическое сопротивление ее металла невелико. Следовательно, газы можно охладить лишь до 170 °С кипящей водой с температурой 145 °С. Выигрыш в количестве пара по сравнению с традиционной схемой будет не так значителен — всего в 3 раза. Но и это существенно.

Более того, это позволяет применить утилизацию продувочного воздуха, пока еще мало освоенный источник теплоты. По-видимому, этот источник не разрабатывается в связи с невозможностью получить в нем пар с давлением 10 атм и подать его в общий сепаратор со вспомогательным котлом. Выше мы показали ненужность этого для утилизационного котла, работающего на выхлопных газах. Полная аналогия и для системы утилизации теплоты продувочного воздуха.

Температура продувочного воздуха может достигать 170–180 °С. Для этого источника теплоты важно отсутствие ограничения по температуре точки росы. Охлаждать этот воздух для подачи в цилиндры нужно до 40–60 °С. Конечно, в системе утилизации этого сделать нельзя. Однако в

системе утилизации теплоты продувочного воздуха вполне реально получить горячую воду с температурой 90 °С, необходимой для разогрева наиболее тяжелого нефтегруза, охладив продувочный воздух до 120 °С. Дальнейшее охлаждение до 40–60 °С следует производить за счет забортной воды во втором контуре системы охлаждения продувочного воздуха. Количество теплоты, полученное в системе утилизации теплоты продувочного воздуха, приблизительно равно теплоте, полученной в УК при охлаждении газов до 170 °С.

Преимущества предлагаемой раздельной системы утилизации теплоты выхлопных газов и продувочного воздуха, независимых от вспомогательного котла, позволяют на длительном ходовом режиме практически полностью обеспечить танкер теплотой для всех нужд исключительно за счет утилизации. Только подогрев топлива ГД, ДГ и ВК остается за вспомогательным котлом, но это небольшое количество — не превышающее 7 % потребности судна в тепловой энергии на длительном ходовом режиме и менее 2,5 % от установленной тепловой мощности ВКУ.

Дополнительный доход оправдывает установку высокотемпературной секции охлаждения продувочного воздуха и применение раздельных систем обогрева груза с тремя ступенями давления: с атмосферным давлением, питаемой паром от высокотемпературной секции охлаждения продувочного воздуха; с давлением 5 бар, питаемой паром от утилизационного котла; с давлением 10 бар, питаемой паром от вспомогательного котла. Предложенная раздельная схема является эффективной, но она не лишена недостатков, связанных с необходимостью работы ВК на топливе при малой нагрузке. Можно предложить несколько более сложную схему, лишенную указанных недостатков. Такая схема представлена на рис. 4.

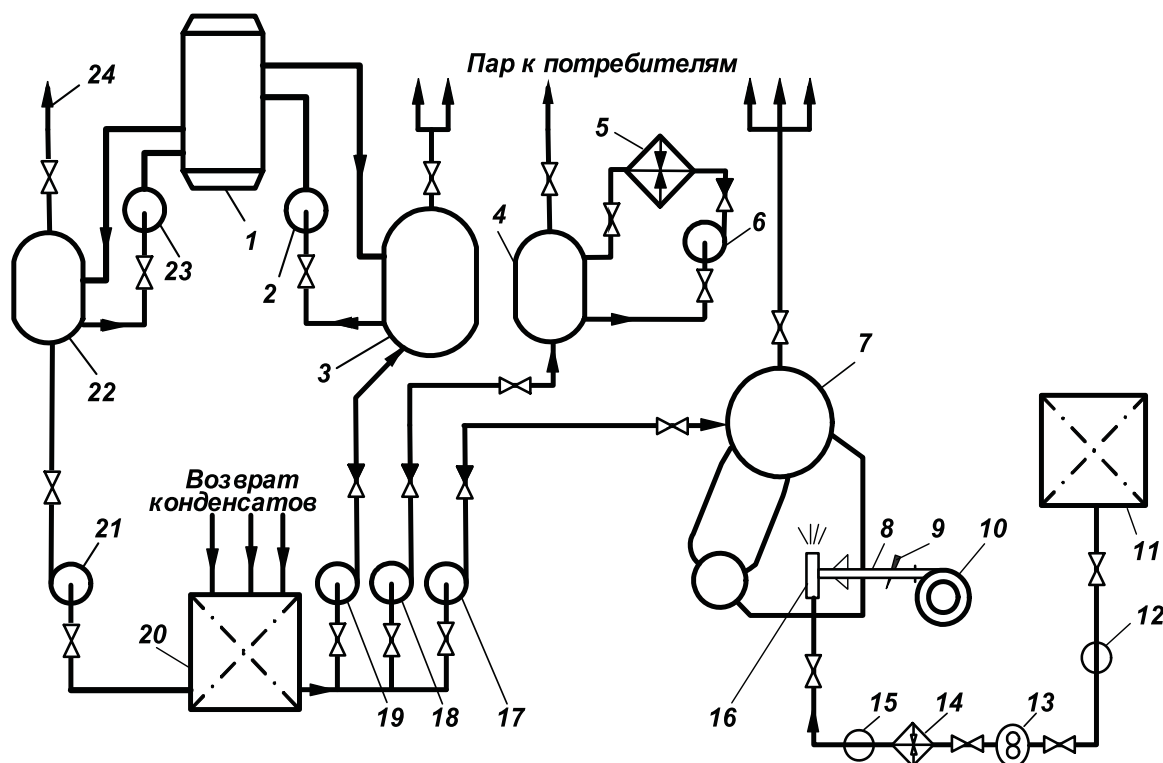


Рис. 4. Раздельная система питания потребителей паром с двухконтурным УК:

- 1, 6, 23 — циркуляционные насосы УК и ВТС; 2 — двухсекционный утилизационный котел (УК);
3 — сепаратор пара секции низкого давления; 4 — сепаратор пара ВТС; 5 — высокотемпературная секция охлаждения продувочного воздуха (ВТС); 7 — вспомогательный котел (ВК); 8 — воздухопровод ВК;
9 — воздушные заслонки; 10 — котельный вентилятор; 11 — расходная топливная цистерна;
12, 15 — фильтры холодного и горячего топлива; 13 — топливный насос; 14 — подогреватель топлива;
16 — форсунки; 17 — питательный насос ВК; 18 — питательный насос ВТС; 19, 21 — питательные насосы секций УК; 20 — теплый ящик; 22 — сепаратор секции высокого давления УК;
24 — пар на подогрев топлива главного двигателя

Преимущества предлагаемой отдельной системы утилизации теплоты выхлопных газов и продувочного воздуха, независимых от вспомогательного котла, позволяют на длительном ходовом режиме полностью обеспечить танкер теплотой для всех нужд исключительно за счет утилизации. Подогрев тяжелого топлива главного двигателя на ходовых режимах осуществляется за счет пара высокотемпературной секции утилизационного котла.

Повышение энергетической и экологической эффективности обеспечено, однако экономическая эффективность нуждается в дополнительном исследовании ввиду необходимости разработки типоразмерного ряда двухконтурных утилизационных котлов.

Режимы стоянки танкеров не длительные, и на этих режимах возможна работа стояночных дизель-генераторов и вспомогательных котлов на легком топливе, не требующем подогрева и содержащем меньшую массовую долю углерода и серы.

Для универсальных сухогрузных судов характерны длительные стояночные режимы, связанные с погрузоразгрузочными работами или ожиданием груза. На таких судах, по-видимому, актуально применение утилизации теплоты стояночных дизель-генераторов в соответствии со схемой, представленной на рис. 4. Ввиду более высокой температуры выхлопных газов среднеоборотных двигателей ДГ возможно получение большего количества теплоты от утилизации теплоты выхлопных газов и полное обеспечение потребностей судна в тепловой энергии, в том числе в зимний период и для подогрева тяжелого топлива ДГ-ДТ, ДМ и даже М-40. Работа ВК на стоянке может быть исключена полностью.

На речных судах используется менее вязкое дизельное топливо ДЛ с содержанием серы до 0,2 %, не нуждающееся в подогреве. Как видно из рис. 3, при получении пара с давлением 2,5 бар и температурой 127 °С низкотемпературная коррозия не возникает. При использовании же тяжелого топлива типа ДТ или Ф-12 с содержанием серы до 0,6 % указанная проблема также не актуальна, если поднять давление в утилизационном котле до 3 бар (температура насыщения 133 °С). Поскольку прочие потребители на речном танкере не нуждаются в более высокой температуре, то здесь возможно объединение ВК, УК и ВТС в единую систему с указанным выше давлением, безопасным по сернистой коррозии.

Однако расходование любого топлива наносит вред окружающей среде дополнительными выбросами CO_2 и SO_2 , поэтому применение утилизации в соответствии со схемами на рис. 2 и 4 актуально и для речных судов ввиду общего уменьшения расхода топлива.

Выводы

1. Традиционные схемы утилизации теплоты СЭУ с малооборотными ДВС не обеспечивают глубокой утилизации теплоты вторичных энергоресурсов, как вследствие низких параметров выхлопных газов, так и различной потребности в параметрах пара у отдельных его потребителей.

2. Применение отдельных схем утилизации теплоты выхлопных газов, продувочного воздуха и охлаждающей пресной воды позволяет не только увеличить количество утилизируемой тепловой энергии, но и полностью отказаться от работы вспомогательных котлов на топливе на длительных ходовых режимах не только на сухогрузных судах, но и на танкерах, перевозящих высоковязкие нефтепродукты.

3. Схемы утилизации с двухконтурными утилизационными котлами позволяют обеспечить подогрев топлива главных двигателей также за счет пара утилизационного котла.

4. Утилизация теплоты стояночных ДГ целесообразна в случае длительных стояночных режимов, характерных для ряда универсальных сухогрузных судов.

5. Предложенные усовершенствования систем утилизации обеспечивают уменьшение расходов топлива, экономию текущих расходов, повышение энергетической и экологической эффективности вспомогательных котельных установок транспортных судов, а вследствие этого и судовой энергетической установки в целом.

Список литературы

1. Даниловский А. Г. Выбор оптимальных параметров судовой вспомогательной котельной установки / А. Г. Даниловский // Тр. СПГУВК. — 2010. — № 3.
2. Даниловский А. Г. Автоматизированное проектирование и оптимизация судовых вспомогательных энергетических комплексов: моногр. / А. Г. Даниловский, И. А. Боровикова. — СПб.: Изд. центр СПГУВК, 2008.
3. Даниловский А. Г. Оптимизация судового пропульсивного комплекса: моногр. / А. Г. Даниловский, М. А. Орлов, И. А. Боровикова. — СПб.: РИЦ СПбГМТУ, 2008.

УДК 539.384: 629.12: 519.63

С. О. Барышников,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК;

М. В. Сухотерин,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК

ВЫЧИСЛЕНИЕ ЧАСТОТ И ФОРМ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПАНЕЛЕЙ ОБШИВКИ СУДНА

COMPUTATION OF FREQUENCY AND FORMS OF FREE OSCILLATIONS OF PANELS OF A SHIP SHELL

Задача свободных колебаний прямоугольной защемленной панели сведена к бесконечной системе алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов гиперболо-тригонометрических рядов. Приведены несколько первых частот и форм для квадратной пластины и пластины с отношением сторон 2:1.

The problem of free oscillation rectangular clamped plate result in infinite system algebraic equation for unknown coefficient of hyperbolic-trigonometric series. Calculate the first several frequency and form for square plate and ratio 2:1.

Ключевые слова: свободные колебания, прямоугольная защемленная пластина, гиперболо-тригонометрические ряды, численные результаты.

Key words: free oscillation, rectangular clamped plate, hyperbolic-trigonometric series, numerical results.



РИ работе двигателя вибрации передаются на корпус судна и его обшивку, которая может испытывать резонансные явления.

Исследование поперечных упругих колебаний заключается в определении прогибов обшивки в любой момент времени. Важнейшей частью задачи является определение частот собственных (свободных) колебаний. Так как число оборотов двигателя может меняться в значительных пределах, то важно знать не только частоту первого (основного) тона колебаний, но и нескольких последующих обертонов, которые может «проходить» двигатель на форсажном режиме, вызывая резонансные явления.

Основным силовым набором (шпангоуты, стрингеры) обшивка делится на прямоугольные панели (пластины), которые можно считать защемленными по всему контуру. Точное решение задачи свободных колебаний прямоугольной пластины получено лишь для шарнирно опертой

пластины (см. [1–3]). Данная задача является более сложной и не имеет точного решения в замкнутой форме, а известные приближенные решения [2, 4–6] оставляют открытым вопрос о точности результатов.

Постановка задачи

Пусть защемленная прямоугольная пластина с размерами $a \times b$ в плане постоянной толщины h (рис. 1) от какой-либо внешней внезапной нагрузки получила некоторые прогибы и скорости, направленные перпендикулярно недеформированной поверхности. Эти прогибы и скорости есть начальные условия задачи. Начало системы координат XOY поместим в центр пластины.

Начальные условия в общем виде можно записать так:

$$W|_{t=0} = W_0(X, Y), \quad \frac{\partial W}{\partial t}|_{t=0} = V_0(X, Y), \quad (1)$$

где W_0 — начальный прогиб точек срединной поверхности пластины, V_0 — их начальные скорости в перпендикулярном направлении, t — время.

Пластина, будучи мгновенно разгруженной, станет совершать поперечные колебания, которые при отсутствии сил сопротивления и возмущения будут свободными незатухающими.

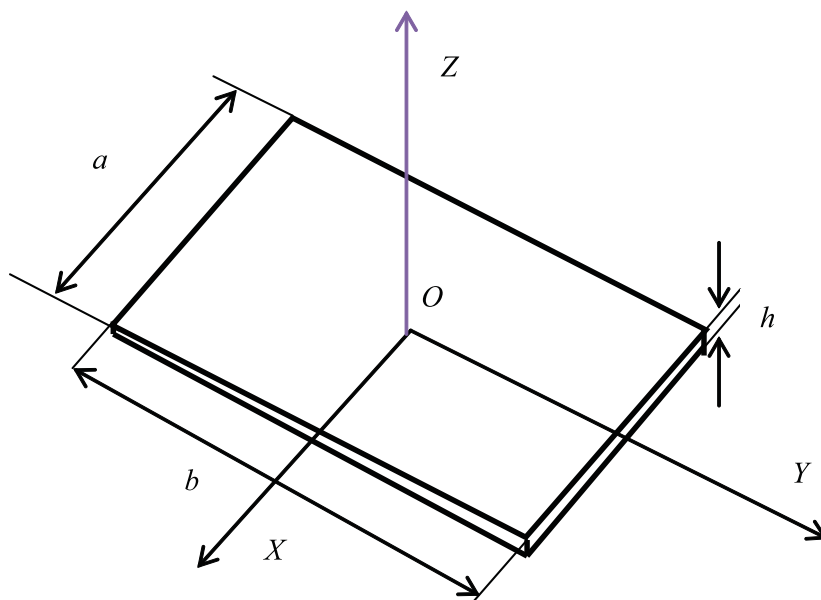


Рис. 1. Защемленная по контуру прямоугольная пластина

Приведем дифференциальное уравнение ее свободных колебаний [1]:

$$D \nabla^2 \nabla^2 W + \frac{\gamma^* h}{g} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = 0, \quad (2)$$

где W — прогиб срединной поверхности пластины, $D = Eh^3/[12(1-\nu^2)]$ — цилиндрическая жесткость пластины, E — модуль Юнга, ν — коэффициент Пуассона, γ^* — удельный вес материала пластины, g — ускорение силы тяжести, $\nabla^2 \nabla^2 = \frac{\partial^4}{\partial X^4} + 2 \frac{\partial^4}{\partial X^2 \partial Y^2} + \frac{\partial^4}{\partial Y^4}$ — бигармонический оператор.

Перейдем к безразмерным координатам $x = X/b$, $y = Y/b$. Тогда уравнение (2) можно привести к виду

$$\nabla^2 \nabla^2 W + \eta^2 \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = 0, \quad (3)$$

где $\eta^2 = \gamma^* h b^4 / (gD)$, а в бигармоническом операторе следует заменить X, Y на x, y . Относительные размеры пластины будут такими: $-\gamma/2 \leq x \leq \gamma/2, -1/2 \leq y \leq 1/2$, где $\gamma = a/b$.

Граничные условия на защемленных кромках имеют вид:

$$x = \pm \gamma/2: W = 0, \quad \partial W / \partial x = 0, \quad (4)$$

$$y = \pm 1/2: W = 0, \quad \partial W / \partial y = 0. \quad (5)$$

Задача ставится так: найти функцию прогибов $W(x, y, t)$, удовлетворяющую дифференциальному уравнению (3), начальным (1) и граничным условиям (4), (5).

Построение решения

Согласно методу Фурье искомую функцию прогибов представим в виде произведения двух функций, одна из которых есть функция только времени, а вторая — только координат срединной поверхности:

$$W(x, y, t) = w^*(t) w(x, y), \quad (6)$$

Для функции координат граничные условия будут аналогичными (4), (5):

$$x = \pm \gamma/2: w = 0, \quad \partial w / \partial x = 0, \quad (7)$$

$$y = \pm 1/2: w = 0, \quad \partial w / \partial y = 0. \quad (8)$$

Функция времени представляется в виде [2]:

$$w^*(t) = C_1 \cos pt + C_2 \sin pt. \quad (9)$$

Здесь p — частота колебаний (круговая частота) пластины, подлежащая определению; C_1, C_2 — произвольные постоянные, которые определяются из начальных условий (1). Круговая частота связана с периодом колебаний T зависимостью $p = 2\pi / T$.

Подставим (9) в (6), а затем (6) в (3) и, обозначив $\Omega = p\eta$, в результате получим дифференциальное уравнение, которому должна удовлетворять функция координат:

$$\nabla^2 \nabla^2 w(x, y) - \Omega^2 w(x, y) = 0. \quad (10)$$

1) Симметричное решение

Функцию $w(x, y)$ будем разыскивать в виде суммы двух рядов:

$$w(x, y) = \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\tilde{k}} A(k) \operatorname{ch} \beta_k x \cos \lambda_k y + \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\tilde{s}} C(s) \operatorname{ch} \xi_s y \cos \mu_s x, \quad (11)$$

Здесь коэффициенты $A(k), \beta_k, C(s), \xi_s$ — подлежат определению; $\lambda_k = k\pi, \mu_s = s\pi/\gamma, \tilde{k} = (k+1)/2, \tilde{s} = (s+1)/2$.

Ряды (11) содержат только четные функции координат, так как первая (основная) форма колебаний должна быть симметричной, соответствуя форме изогнутой поверхности под действием равномерной поперечной нагрузки.

Последующие формы колебаний получаются при сочетании четного и нечетного слагаемых, а также при обоих нечетных. Поэтому, помимо представления (11), в дальнейшем будут рассмотрены и три указанных случая.

Потребуем, чтобы оба ряда в (11) удовлетворяли дифференциальному уравнению (10), тогда для определения коэффициентов β_k и ξ_s получим уравнения

$$(\beta_k^2 - \lambda_k^2)^2 = \Omega^2, \quad (\xi_s^2 - \mu_s^2)^2 = \Omega^2, \quad (12)$$

откуда находим пары корней, зависящих от неизвестной частоты p :

$$\beta_k = \sqrt{\lambda_k^2 + \Omega}, \quad \bar{\beta}_k = \sqrt{\lambda_k^2 - \Omega}, \quad \xi_s = \sqrt{\mu_s^2 + \Omega}, \quad \bar{\xi}_s = \sqrt{\mu_s^2 - \Omega}. \quad (13)$$

Так как вместо одной последовательности коэффициентов β_k и ξ_s получено по две, то функция (11) перепишется в виде

$$w(x, y) = \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\bar{k}} (A_k \operatorname{ch} \beta_k x + B_k \operatorname{ch} \bar{\beta}_k x) \cos \lambda_k y + \\ + \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\bar{s}} (C_s \operatorname{ch} \xi_s y + D_s \operatorname{ch} \bar{\xi}_s y) \cos \mu_s x. \quad (14)$$

Первый ряд в (14) «автоматически» удовлетворяет условию отсутствия прогибов на гранях $y = \pm 1/2$, а второй — условию отсутствия прогибов на гранях $x = \pm \gamma/2$. Потребуем, чтобы удовлетворялись все граничные условия (7), (8), тогда придем к системе уравнений:

$$\sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\bar{k}} A_k \operatorname{ch}(\beta_k \gamma / 2) (\beta_k \operatorname{th}(\beta_k \gamma / 2) - \bar{\beta}_k \operatorname{th}(\bar{\beta}_k \gamma / 2)) \cos \lambda_k y + \\ + \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} C_s \mu_s \left(\operatorname{ch} \xi_s y - \frac{\operatorname{ch}(\xi_s / 2)}{\operatorname{ch}(\bar{\xi}_s / 2)} \operatorname{ch} \bar{\xi}_s y \right) = 0, \quad (15)$$

$$\sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} A_k \lambda_k \left(\operatorname{ch} \beta_k x - \frac{\operatorname{ch}(\beta_k \gamma / 2)}{\operatorname{ch}(\bar{\beta}_k \gamma / 2)} \operatorname{ch} \bar{\beta}_k x \right) + \\ + \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\bar{s}} C_s \operatorname{ch}(\xi_s / 2) (\xi_s \operatorname{th}(\xi_s / 2) - \bar{\xi}_s \operatorname{th}(\bar{\xi}_s / 2)) \cos \mu_s x = 0. \quad (16)$$

Разложим гиперболические функции в ряды Фурье:

$$\operatorname{ch} \xi_s y = -4 \operatorname{ch} \frac{\xi_s}{2} \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\bar{k}} \frac{\lambda_k \cos \lambda_k y}{\xi_s^2 + \lambda_k^2}, \quad \operatorname{ch} \beta_k x = -\frac{4}{\gamma} \operatorname{ch} \frac{\beta_k \gamma}{2} \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\bar{s}} \frac{\mu_s \cos \mu_s x}{\beta_k^2 + \mu_s^2}.$$

Заметим, что для $\operatorname{ch} \bar{\xi}_s y$ и $\operatorname{ch} \bar{\beta}_k x$ формулы будут аналогичными.

Подставляя эти разложения в систему (15), (16) и переставляя знаки суммирования в двойных рядах, приведем систему к более простому виду:

$$A_k \operatorname{ch} \frac{\beta_k \gamma}{2} \left(\beta_k \operatorname{th} \frac{\beta_k \gamma}{2} - \bar{\beta}_k \operatorname{th} \frac{\bar{\beta}_k \gamma}{2} \right) + 8 \Omega \lambda_k \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\mu_s \operatorname{ch}(\xi_s / 2)}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2 - \Omega^2} C_s = 0, \quad (17)$$

$$\frac{8 \Omega}{\gamma} \mu_s \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\lambda_k \operatorname{ch}(\beta_k \gamma / 2)}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2 - \Omega^2} A_k + C_s \operatorname{ch} \frac{\xi_s}{2} \left(\xi_s \operatorname{th} \frac{\xi_s}{2} - \bar{\xi}_s \operatorname{th} \frac{\bar{\xi}_s}{2} \right) = 0. \quad (18)$$

Из второго уравнения выразим коэффициенты C_s через совокупность коэффициентов A_k и подставим их в первое уравнение (17) системы. Получим

$$A_k^* = \frac{64 \Omega^2 \lambda_k^2}{\gamma \left(\beta_k \operatorname{th} \frac{\beta_k \gamma}{2} - \bar{\beta}_k \operatorname{th} \frac{\bar{\beta}_k \gamma}{2} \right)} \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\mu_s^2}{\left[(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2 - \Omega^2 \right] \left(\xi_s \operatorname{th} \frac{\xi_s}{2} - \bar{\xi}_s \operatorname{th} \frac{\bar{\xi}_s}{2} \right)} \times \\ \times \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \frac{A_k^*}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2 - \Omega^2} = 0, \quad (k = 1, 3, \dots), \quad (19)$$

где обозначено

$$A_k^* = A_k \lambda_k \operatorname{ch}(\beta_k \gamma / 2). \quad (20)$$

Выражение (19) представляет собой однородную бесконечную систему линейных алгебраических уравнений относительно одной последовательности коэффициентов A_k^* . Эта система содержит также неизвестную частоту

$$\Omega = p \frac{\gamma^* h b^4}{g D}. \quad (21)$$

Если перенести A_k^* из левой части равенства в правую и привести подобные члены, то получим однородную систему в обычной записи. Эта система всегда имеет тривиальное решение $A_k^* = 0$ для всех k (отсутствие колебаний). Для того чтобы, помимо тривиального решения, система имела бы и бесчисленное множество ненулевых решений, ее определитель должен быть равен нулю $\Delta(p) = 0$. Это уравнение называется частотным; из него находится бесконечная последовательность собственных частот p_j , каждой из которых соответствует своя форма колебаний.

Получение частотного трансцендентного уравнения в развернутом виде и его решение является весьма сложной математической задачей.

Предлагается искать собственные частоты более простым способом последовательных приближений. Коэффициенты A_k^* в правой части системы (19) считаем коэффициентами предыдущей итерации A_{kN}^* , а коэффициенты в левой части — коэффициентами последующей итерации $A_{k(N+1)}^*$. Задача ставится так: подобрать такие значения Ω_j , при которых метод последовательных приближений, организованный по формуле (19), привел бы на некоторой итерации к равенствам $A_{k(N+1)}^* = A_{kN}^* \neq 0$ для всех последующих значений N , другими словами, чтобы преобразование в правой части не изменяло бы коэффициентов A_{kN}^* . В качестве начального приближения можно положить все $A_{k0}^* = 1$. Найденные таким образом частоты и будут искомыми частотами свободных колебаний, а найденные коэффициенты $A_{k(N+1)}^*$ (с точностью до постоянного множителя) дадут соответствующую форму колебаний. Равенство $A_{k(N+1)}^* = A_{kN}^* \neq 0$ означает, что колебания будут совершаться с постоянной амплитудой, то есть будут свободными незатухающими.

Запишем теперь выражение функции прогибов, в котором будет фигурировать лишь одна последовательность коэффициентов A_k^* .

$$w(x, y) = \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \frac{(-1)^{\bar{k}} A_k^*}{\lambda_k ch(\beta_k \gamma / 2)} \left(ch \beta_k x - \frac{ch(\beta_k \gamma / 2)}{ch(\bar{\beta}_k \gamma / 2)} ch \bar{\beta}_k x \right) \cos \lambda_k y - \\ - \frac{8\Omega}{\gamma} \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} \frac{(-1)^{\bar{s}} \mu_s \left(ch \xi_s y - \frac{ch(\xi_s / 2)}{ch(\bar{\xi}_s / 2)} ch \bar{\xi}_s y \right)}{ch(\xi_s / 2) [\xi_s th(\xi_s / 2) - \bar{\xi}_s th(\bar{\xi}_s / 2)]} \left(\sum_{j=1,3,\dots}^{\infty} \frac{A_j^*}{(\lambda_j^2 + \mu_s^2)^2 - \Omega^2} \right) \cos \mu_s x, \quad (22)$$

где ненулевые коэффициенты A_k^* находятся из системы (19).

Численные результаты для квадратной пластины

Для численной реализации предложенного метода была составлена программа в системе аналитических вычислений Maple 14. В качестве начального приближения все коэффициенты A_{k0}^* полагались равными единице. Число приближений (итераций) M менялось в пределах от 8 до 25. Число членов в рядах принималось равным 49. Дальнейшее увеличение количества слагаемых в рядах практически не увеличивало точность вычислений. Было установлено, что при $\Omega_1 = 35,985$ процесс последовательных приближений, организованный по формуле (19), сходится к ненулевому решению. Соответствующие коэффициенты A_k^* на 19-й и 20-й итерациях практически совпадали. Это говорит о том, что система (19) при $\Omega_1 = 35,985$ удовлетворяется, следовательно, удовлетворяются все граничные условия задачи, то есть это значение есть первая (основная) частота.

В работе [2] приведены два примера отыскания основной частоты в первом приближении для квадратной пластины. В первом примере форма свободных колебаний представлялась выражением

$$W(x, y) = A(x^2 - a^2 / 4)^2 (y^2 - b^2 / 4)^2, \quad (23)$$

где a и b — размеры пластины, A — коэффициент. Задача решалась методом Рэлея–Ритца. Частота основного тона (в наших обозначениях) получилась равной $\Omega_1 = 36,0$. Во втором примере полагалось

$$W(x, y) = A(1 + \cos(2\pi x / a))(1 + \cos(2\pi y / b)). \quad (24)$$

Частота основного тона получилась равной $\Omega_1 = 37,2$. Последующие приближения не рассматривались.

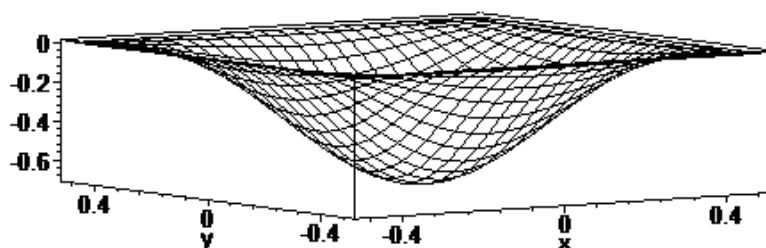
Значение $\Omega_1 = 35,985$, найденное в настоящей работе, хорошо согласуется со значением, полученным в работе [2] по формуле (23) энергетическим методом, являясь в то же время более точным и обоснованным.

Первые 10 коэффициентов A_k^* для 1-й, 19-й и 20-й итераций приведены в табл. 1. Найденные значения A_{k20}^* подставлялись в формулу (22), по которой вычислялись прогибы (первая форма колебаний). Графически основная форма колебаний представлена на рис. 2, который показывает, что граничные условия задачи выполнены точно. Кроме того, первая форма колебаний соответствует форме изогнутой поверхности пластины под действием равномерной поперечной нагрузки, на что указывается и в работе [2].

Таблица 1

**Значения коэффициентов A_k^* для квадратной пластины. $\Omega_1 = 35,985$
(число членов в рядах $n = 49$; M — номер итерации)**

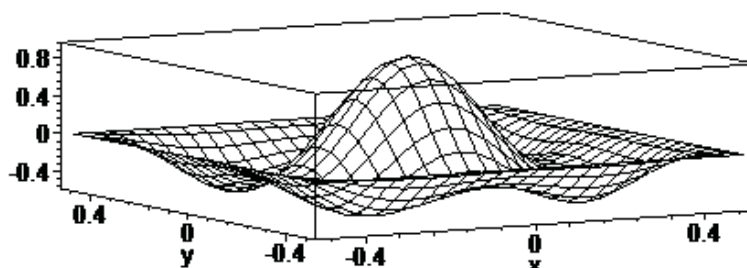
k	$M = 1$	$M = 19$	$M = 20$
1	0,88879	0,86670	0,86675
3	-0,29825	-0,53815	-0,53818
5	0,16607	-0,22768	-0,22769
7	0,38770	-0,11292	-0,11292
9	0,51598	-0,05981	-0,05982
11	0,59780	-0,03240	-0,03240
13	0,65318	-0,01719	-0,01719
15	0,69197	-0,00831	-0,00831
17	0,71960	-0,00296	-0,00296
19	0,73925	0,00033	0,00033

Рис. 2. Первая форма колебаний квадратной пластины при $\Omega_1 = 35,985$

С помощью компьютерных вычислений была найдена и вторая частота свободных колебаний для четного решения $\Omega_2 = 132,208$.

Напомним, что между первой и второй частотами четного решения должны быть еще частоты нечетного и четно-нечетного решений.

Графически вторая форма колебаний представлена на рис. 3.

Рис. 3. Вторая (симметричная) форма колебаний квадратной пластины при $\Omega_2 = 132,208$

Аналогично была найдена и третья частота свободных колебаний $\Omega_3 = 220,032$. Соответствующая третья форма колебаний представлена на рис. 4.

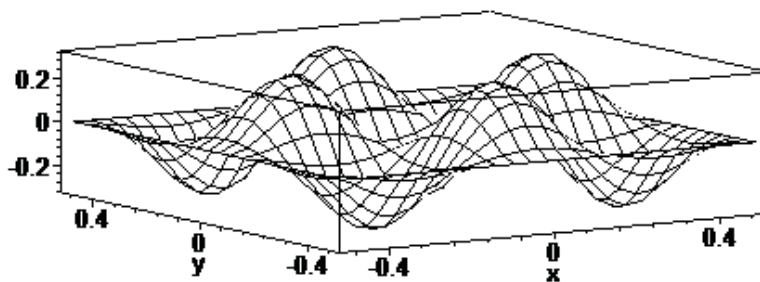


Рис. 4. Третья (симметричная) форма колебаний квадратной пластины при $\Omega_3 = 220,032$

Вычисление последующих частот свободных колебаний для симметричного решения нецелесообразно.

2) Антисимметричное решение

Искомую координатную функцию прогибов представим гиперголо-тригонометрическими рядами по синусам

$$w(x, y) = \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k (A_k sh \beta_k x + B_k sh \bar{\beta}_k x) \sin \lambda_k y + \sum_{s=1}^{\infty} (-1)^s (C_s sh \xi_s y + D_s sh \bar{\xi}_s y) \sin \mu_s x, \quad (25)$$

где A_k, B_k, C_s, D_s — неопределенные коэффициенты, а коэффициенты λ_k и μ_s имеют уже другой вид:

$$\lambda_k = 2k\pi, \quad \mu_s = 2s\pi / \gamma. \quad (26)$$

Коэффициенты β_k и ξ_s по-прежнему выражаются формулами (14).

Требуя, чтобы эта функция удовлетворяла всем граничным условиям, придем к бесконечной системе, подобной (23):

$$A_k^* = \frac{64\Omega^2 \lambda_k^2}{\gamma \left(\beta_k cth \frac{\beta_k \gamma}{2} - \bar{\beta}_k cth \frac{\bar{\beta}_k \gamma}{2} \right)} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\mu_s^2}{\left[(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2 - \Omega^2 \right] \left(\xi_s cth \frac{\xi_s}{2} - \bar{\xi}_s cth \frac{\bar{\xi}_s}{2} \right)} \times \times \sum_{k=1}^{\infty} \frac{A_k^*}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2 - \Omega^2} = 0, \quad (k = 1, 2, 3, \dots), \quad (27)$$

где обозначено

$$A_k^* = A_k \lambda_k sh(\beta_k \gamma / 2). \quad (28)$$

Запишем выражение функции прогибов, в котором будет фигурировать лишь одна последовательность коэффициентов A_k^* :

$$w(x, y) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k A_k^*}{\lambda_k sh(\beta_k \gamma / 2)} \left(sh \beta_k x - \frac{sh(\beta_k \gamma / 2)}{sh(\bar{\beta}_k \gamma / 2)} sh \bar{\beta}_k x \right) \sin \lambda_k y - \frac{8\Omega}{\gamma} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{(-1)^s \mu_s \left(sh \xi_s y - \frac{sh(\xi_s / 2)}{sh(\bar{\xi}_s / 2)} sh \bar{\xi}_s y \right)}{sh(\xi_s / 2) \left[\xi_s cth(\xi_s / 2) - \bar{\xi}_s cth(\bar{\xi}_s / 2) \right]} \left(\sum_{j=1}^{\infty} \frac{A_j^*}{(\lambda_j^2 + \mu_s^2)^2 - \Omega^2} \right) \sin \mu_s x, \quad (29)$$

где ненулевые коэффициенты A_k^* находятся из системы (27) с точностью до постоянного для всех коэффициентов множителя.

В результате компьютерных вычислений получены первые две собственные частоты для антисимметричного решения в случае квадратной пластины $\Omega_{12} = 108,2165$, $\Omega_{22} = 243,1575$. Графически эти формы колебаний представлены на рис. 5, 6.

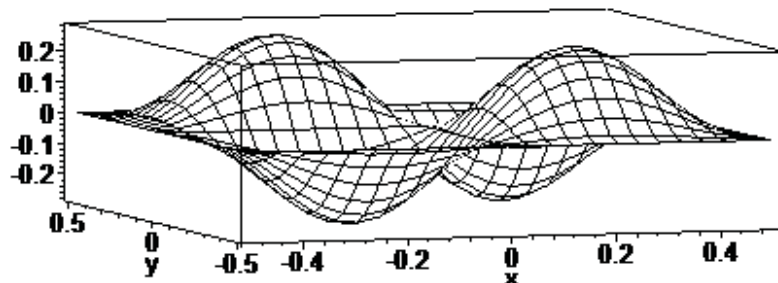


Рис. 5. Форма колебаний квадратной пластины при $\Omega_{12} = 108,2165$

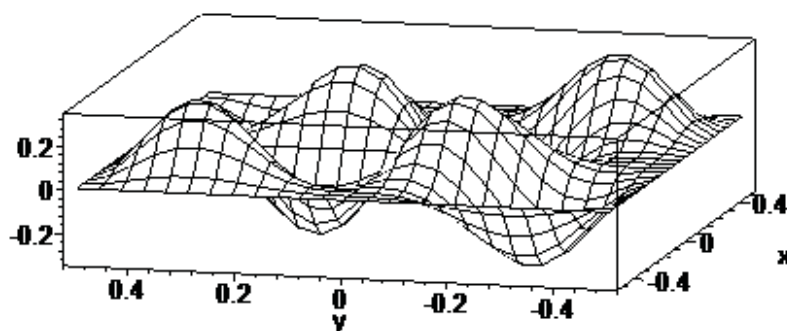


Рис. 6. Форма колебаний квадратной пластины при $\Omega_{22} = 243,1575$

3) Четно-нечетное решение

Формы свободных колебаний могут быть симметричными относительно одной оси и антисимметричными относительно другой. Для прямоугольной пластины следует рассмотреть два случая (еще и нечетно-четную форму). Для квадратной в силу полной симметрии достаточно одного.

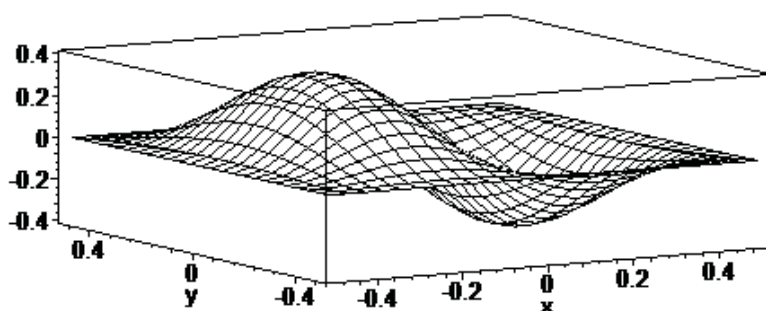
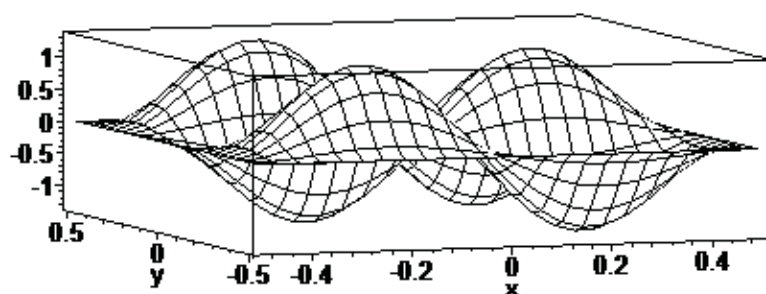
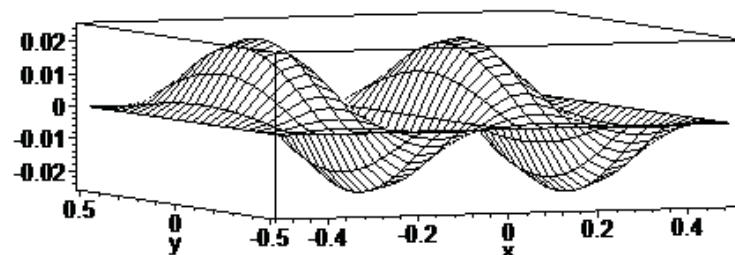
Координатная функция прогибов представлялась выражением

$$w(x, y) = \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{\bar{k}} (A_k \operatorname{sh} \beta_k x + B_k \operatorname{sh} \bar{\beta}_k x) \cos \lambda_k y + \\ + \sum_{s=1}^{\infty} (-1)^s (C_s \operatorname{ch} \xi_s y + D_s \operatorname{ch} \bar{\xi}_s y) \sin \mu_s x, \quad (30)$$

где A_k, B_k, C_s, D_s — неопределенные коэффициенты, $\lambda_k = k\pi$, ($k = 1, 3, \dots$), $\mu_s = 2s\pi/\gamma$, ($s = 1, 2, 3, \dots$).

Коэффициенты β_k и ξ_s по-прежнему выражаются формулами (13).

Аналогично была получена бесконечная система линейных алгебраических уравнений, подобная двум предыдущим (19), (27). Соответственно найдены четно-нечетные частоты и формы свободных колебаний квадратной пластины: $\Omega_{13} = 73,394$, $\Omega_{23} = 164,998$, $\Omega_{33} = 210,522$. Графически формы колебаний представлены на рис. 7–9.

Рис. 7. Форма колебаний квадратной пластины при $\Omega_{13} = 73,394$ Рис. 8. Форма колебаний квадратной пластины при $\Omega_{23} = 164,998$ Рис. 9. Форма колебаний квадратной пластины при $\Omega_{33} = 210,522$

Приведем сводную таблицу первых восьми частот свободных колебаний квадратной пластины (табл. 2).

Для сравнения приведем данные из работ [4, с. 73; 6]. В справочном пособии В. С. Гонткевича [4] указаны первые шесть частот свободных колебаний квадратной пластины: 35,99; 73,41; 108,27; 131,64; 132,25; 165,15. Эти результаты получены методом Рэлея–Ритца Д. Юнгом [5]. Имеет место хорошее совпадение с данными табл. 2, за исключением значения 131,64, аналога которому в таблице нет. Проверка указанного значения не дала подтверждения, что это какой-либо обертона свободных колебаний.

Таблица 2

Частоты свободных колебаний квадратной пластины, отнесенные к величине $\sqrt{gD/\gamma^*h/a^2}$

№ п/п	Форма колебаний	Частота, Ω
1	четная	35,985
2	нечетно-четная	73,394
3	нечетная	108,2165
4	четная	132,208
5	нечетно-четная	164,998
6	нечетно-четная	210,522
7	четная	220,032
8	нечетная	243,1575

В справочнике Д. В. Вайнберга [6, с. 273] приведены первые шесть частот свободных колебаний квадратной пластины. Отметим, что в расчетной формуле на той же странице по ошибке в знаменателе не указан множитель π^2 . Если табличные значения умножить на π^2 , то получим следующий спектр частот: 35,985; 73,4; 108,220; 132,184; 164,990; 243,098. Эти данные получены автором методом сеток (конечных разностей). Они весьма близки к результатам, полученным в настоящей работе, однако в [6] отсутствуют частоты, аналогичные № 6, 7 в табл. 2.

Приведем также сводную таблицу первых девяти частот свободных колебаний прямоугольной пластины с отношением сторон $\gamma = 2$, полученную в настоящей работе.

Таблица 3

Частоты свободных колебаний прямоугольной пластины при $\gamma = 2$,

отнесенные к величине $\sqrt{gD/\gamma^* h/b^2}$

№ п/п	Форма колебаний	Частота, Ω
1	четная	24,5777
2	нечетно-четная	31,826
3	четная	44,7697
4	нечетно-четная	63,3307
5	четно-нечетная	63,98313
6	нечетная	71,0762
7	четно-нечетная	83,2727
8	четная	87,2527
9	нечетная	100,7921

Приведенная методика может быть использована в практических расчетах поперечных колебаний элементов судовой обшивки, а также аналогичных элементов других конструкций.

Список литературы

1. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле / С. П. Тимошенко, Д. Х. Янг, У. Уивер. — М.: Машиностроение, 1985. — 472 с.
2. Лехницкий С. Г. Анизотропные пластинки / С. Г. Лехницкий. — М.; Л.: ОГИЗ: ГИТТЛ, 1947. — 355 с.
3. Огибалов П. М. Изгиб, устойчивость и колебания пластинок / П. М. Огибалов. — М.: Изд-во МГУ, 1958.
4. Гонткевич В. С. Собственные колебания пластин и оболочек / В. С. Гонткевич. — Киев: Наук. думка, 1964. — 288 с.
5. Young D. Vibration of rectangular plates by the Ritz Method / D. Young // J. of APM. — 1950. — Vol. 17, № 4.
6. Вайнберг Д. В. Справочник по прочности, устойчивости и колебаниям пластин / Д. В. Вайнберг. — Киев: Изд-во «Будівельник», 1973. — 488 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ КЛАСТЕРОВ В РОССИИ

PERSPECTIVES OF SHIPBUILDING CLUSTERS DEVELOPMENT IN RUSSIA

Рассматривается содержание понятия «кластер» как инструмента повышения конкурентоспособности отечественного судостроения. Выделены факторы, обуславливающие актуальность и определяющие условия возникновения кластеров. Проанализирован опыт ведущих судостроительных стран и возможности создания судостроительного кластера на примере С.-Петербурга.

In the article the term “cluster” as a tool for enhancing competitiveness Russian shipbuilding industry is highlighted. The factors, which stipulate actuality and define conditions of shipbuilding clusters appearance are shown. Analysis of the experience of leading shipbuilding countries and possibilities of setting up the shipbuilding cluster in St. Petersburg are analysed.

Ключевые слова: конкурентоспособность, судостроение, кластер.

Key words: competitiveness, shipbuilding, cluster.

В НАСТОЯЩЕЕ время в отечественном судостроении происходит мощный этап реорганизации, и наиболее актуальными вопросами становятся определение отраслевой рыночной стратегии и выбор наиболее эффективных форм организации этого вида бизнеса. Одной из этих форм является кластеризация.

Понятие кластера в западной литературе было введено в экономическую теорию Майклом Портером: «кластер — это сконцентрированные по географическому признаку группы взаимосвязанных компаний, специализированных поставщиков, поставщиков услуг, фирм в соответствующих отраслях, а также связанных с их деятельностью организаций в определенных областях, конкурирующих, но вместе с тем и ведущих совместную работу» [1, с. 257].

Кластерный подход, являясь новой технологией повышения конкурентоспособности, преследует ряд целей: усиление конкурентоспособности бизнеса, находящегося на территории региона, поддержание эффективного бизнес-климата, который увеличивает конкурентные преимущества бизнеса и переход к комплексному использованию потенциала развития региона.

Опыт развития судостроительного рынка демонстрирует эффективность кластерного подхода. Использование кластерной структуры отрасли как инструмент политики государства в сфере судостроения широко используется в настоящий момент в странах Западной Европы, Южной Кореи и Японии.

Кластерную политику в судостроении также успешно перенимают и развивающиеся страны: примером тому могут служить Морской промышленный кластер в Индонезии, Кластер судостроения Бразилии и др.

В то же время в Российской Федерации кластеры, способные конкурировать на мировом рынке судостроения, почти отсутствуют по причине большого технологического отставания отечественной промышленности, вызванного периодом политических реформ конца прошлого века.

Но изменение структуры рынка за счет перераспределения позиций мировых лидеров судостроения (Китая, Южной Кореи, Японии и др.), а также формирования новых перспективных ниш,

которые обусловлены развитием смежных рынков, создают новые условия для развития отечественного судостроения и выдвигают принципиально новые требования к участникам рынка.

Именно кластерная политика идеально подходит для работы в такой сложной отрасли, как судостроение, поскольку ее сущностью является локализация всех основных звеньев цепи создания стоимости на одной территории и формирование конкурентоспособности входящих в кластер предприятий.

Актуальность концепции кластеров для отечественного судостроения обусловлена следующими факторами:

- большая часть созданного в бывшем СССР промышленного потенциала изначально не была ориентирована на рынок;

- экспортно-сырьевая ориентация национальной экономики не отвечает коренным интересам России;

- стремительно разрушается технологический потенциал страны;

- эффективность российской промышленности находится на крайне низком уровне.

Среди основных условий, способствующих формированию кластеров и определяющих саму возможность их возникновения в конкретном регионе, можно выделить наличие: [2, с. 44]:

- крупных, коммерчески успешных наукоемких компаний, способных финансировать новые проекты и выступить центром кластеризации для более мелких производств;

- НИИ, имеющих накопленные знания и потенциал НИОКР в определенной сфере, конкурентоспособные на мировом уровне, а также опыт коммерциализации технологий;

- малых и средних высокотехнологичных фирм, выступающих в качестве поставщиков для ведущих компаний кластера и осуществляющих собственные инициативные разработки;

- крупных технических университетов, осуществляющих подготовку квалифицированных специалистов по востребованным кластером специальностям, а также ведущих инициативные научные разработки;

- технологических парков, предоставляющих доступ к современной исследовательской инфраструктуре и тем самым способствующих концентрации усилий, снижению издержек и более эффективному распространению знаний;

- общественных групп поддержки (торгово-промышленные палаты, отраслевые ассоциации и альянсы, специализированные комиссии и советы при городской или региональной администрации и т. п.), способствующих формированию адекватной информационной среды, что позволяет достичь более глубокого взаимодействия.

Анализ структуры этих условий позволяет судить о том, что, например, Санкт-Петербург в состоянии претендовать на формирование современного конкурентоспособного кластера в судостроении и дальнейшее усиление концентрации судостроительных компаний и смежных производственных предприятий.

К преимуществам формирования судостроительного кластера в Санкт-Петербурге относятся:

- богатая история развития судостроения;

- наличие 43 организаций судостроительной отрасли, в которых работают более 50 тыс. специалистов;

- продукция индустрии судостроения составляет более 50 % от всей продукции ВПК, выпущенной в Санкт-Петербурге;

- наличие всех звеньев цепи создания стоимости, в том числе крупных научно-исследовательских институтов и вузов;

- развит рынок труда;

- благоприятное географическое расположение.

Одним из этапов на пути формирования эффективного кластера стало подписание соглашения о взаимном сотрудничестве между Санкт-Петербургом и ОАО «Объединенная судострои-

тельная корпорация» по созданию кластера судостроения в Санкт-Петербурге в рамках IV Петербургского международного инновационного форума.

Основная идея концепции петербургского судостроительного кластера — это поиск путей снижения себестоимости за счет встраивания всех верфей в единую производственную цепочку.

В настоящее время, несмотря на представительный набор судостроительных предприятий, между которыми существует кооперация, полноценного кластерного эффекта не возникает. Компании в основном построены под военные заказы или как верфи двойного назначения, наблюдается технологическое отставание, а на имеющихся мощностях в их существующей конфигурации строить современный флот высокочрезмерно.

Это определяет тот факт, что без формализации кластера как единого механизма для осуществления совместных действий по экономии издержек невозможно появление глобального игрока, представляющего Россию на мировом рынке судостроения.

Именно кластеризация в российских условиях — главный способ снижения капиталоемкости отрасли, формирования схемы размещения, рыночного и технологического развития, роста квалификации, повышения конкурентоспособности судостроения России на мировом рынке.

Создание высокоэффективного кластера невозможно без создания инновационной системы управления интеллектуальным потенциалом судостроительной промышленности. Данная система позволит осуществлять проектное управление инновационными разработками в судостроении, увеличивать капитализацию судостроительных компаний, повышать конкурентоспособность отечественной продукции судостроения на мировых рынках.

Хотелось бы отметить, что «Объединенная судостроительная корпорация» по состоянию на сентябрь 2011 г. включала более 50 ведущих конструкторских бюро, верфей и судоремонтных предприятий РФ, объединяющих более 70 % отечественного судостроения. В общей сложности на входящих в ОСК предприятиях и в организациях трудятся около 80 тыс. человек. Холдинг, выручка которого в 2010 г. составила 136 млрд руб., предпринимает решительные меры по модернизации основных фондов.

Впервые в России создаются новые судостроительные комплексы в партнерстве с мировыми лидерами отрасли (Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering, Yantai Raffles). Реализуется подготовительный этап по строительству «Новоадмиралтейских верфей» на о. Котлин под Санкт-Петербургом в рамках СП ОСК с корейским судостроительным гигантом — компанией «STX». Кроме того, в конце 2011 г. с финским филиалом STX «Объединенная судостроительная корпорация» создала совместное предприятие «Archtech Helsinki Shipyard», специализирующееся на производстве сложной морской техники для работы в ледовых условиях. Продукция ОСК экспортируется более чем в 20 стран мира.

Все это позволяет судить о наличии перспектив создания и развития высокоэффективных судостроительных кластеров в России с целью повышения конкурентоспособности отечественного судостроения.

Список литературы

1. *Портер М.* Конкуренция: пер. с англ. / М. Портер. — М.: Издат. дом «Вильямс», 2005. — 608 с.: ил. — Парал. тит. л. англ.
2. *Пятинкин С. Ф.* Развитие кластеров: сущность, актуальные подходы, зарубежный опыт / С. Ф. Пятинкин, Т. П. Быкова — Минск: Тесей, 2008.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.436.038.6

А. В. Тузов,

д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК;

С. В. Райтузов,

аспирант,
СПГУВК;

А. Б. Шадрин,

д-р техн. наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой
университет (Горный)»ЭЛЕМЕНТЫ ВИРТУАЛИЗАЦИИ СЕРВИСОВ В ПРОЦЕССАХ АВТОМАТИЗАЦИИ
И КОНТРОЛЯ НА ТРАНСПОРТЕELEMENTS OF SERVICES VIRTUALIZATION IN THE PROCESSES OF
AUTOMATION AND CONTROL IN TRANSPORT

Выполнен анализ и приведены элементы интеллектуализации сервисов для автоматизации и контроля динамических процессов на транспорте.

The article undertakes analysis and introduces elements of intellectualization of services for automation and controlling of dynamic processes in transport.

Ключевые слова: методологические основы автоматизации процесса, инновационное развитие транспорта, интеллектуальная система, база знаний: вопросы государственного масштаба.

Key words: methodological background of process automation, innovative development of transport, intellectual system, intelligent database: issue of national importance.

ВЫДЕЛЕНЫ современные технологии интеллектуализации сервисов для образовательных технологий на уровне выпускающих кафедр с учетом успехов виртуализации машин (VM) и серверов (VS) на процессорах x86 до уровня интеллектуальных транспортных комплексов (ИТС). В рамках «Виртуализации 2.0» созданы: Virtual Desktop Infrastructure (VDI) и Desktop as a Service (DaaS) — Рабочий стол как услуга. В VDI реализовано на новом уровне получение удаленного доступа к «личной» VM, сотни которых «консолидированы» на VS. В плане внедрения VDI лидируют компании: «Citrix» (48 %) и «VMware» (36 %). С 2010 г. в ИТС уже используют технологии: «Облачных вычислений», «Облаков» и «X»aaS (X реализует услуги: PaaS, IaaS и т. д.). Например, Software as a Service (SaaS) предполагает не лицензирование и покупку, а временную аренду сложного программного комплекса. Технология Desktop as a Service (DaaS) реализует аренду удаленного доступа к VM внутри «фермы» VS ко всем сервисам сложных программных технологий. Соединения пользователей с VM проходят через «Брокер соединений», который служит единой точкой входа, с одной стороны, а с другой — проверяет «Учетные записи» и перенаправляет пользователей на определенную VM [1–7].

В инфраструктуре VDI реализованы три сценария работы с VM.

Individual. Конкретному логину сопоставляется конкретная VM. Пользователь попадает на «свою» выделенную VM.

Persistent Pool. Аналогично предыдущему, но VM создаются «на лету» по шаблону, с необходимым программным обеспечением. Соответствие между VM и пользователем запоминается и

все данные сохраняются между сеансами. Это позволяет уменьшить затраты на администрирование отдельных VM, как в Individual.

Non-Persistent Pool. Выглядит как предыдущий сценарий, но изменения на VM не сохраняются и после окончания сессии уничтожаются. VM поступает в «Пул свободных». При повторном входе пользователя опять предоставляется «чистая» VM. Все изменения сохраняются на локальных носителях у всех клиентов VDI.

Для целей сетевого обучения сервисам ИТС на уровне серверов университета и кафедр выбираем сценарий Non-Persistent Pool, позволяющий в многоцелевом процессе обучения не засорять VM «последствиями экспериментов». Преимущества VM: 1) VM физически находятся в VS и позволяют решать вопросы: надежности, электропитания, защиты от посторонних, резервирования сетевых соединений, хранения и восстановления резервных копий (корпоративные VS должны иметь такие возможности); 2) возможность удаленной работы с VM в любое время и из любого места, в том числе через Интернет; 3) ускорение внедрения мобильных устройств: Android, Apple iPad или с Windows Mobile; 4) конфигурация VM соответствует корпоративным или учебным требованиям. Отметим, что стоимость VS сравнялась со стоимостью компьютерных классов. Если затраты на установку для VS выше, то стоимость обслуживания и владения — ниже. Коэффициент консолидации может достигать до 30–50 VM на VS, а для современных VS с десятками ядер и гигабайтами памяти — до 100–200 на VS.

Недостатки виртуализации: высокие начальные инвестиции в серверное оборудование, сетевую инфраструктуру и системы хранения данных с учетом программного обеспечения. Количество лицензий Windows удваивается, поскольку необходимо иметь лицензионную копию как на VM, так и на рабочем месте пользователя. Трудности работы с мультимедийным контентом (просмотр видео) на VM. Зависимость от сетевой инфраструктуры. Если внутреннюю корпоративную сеть можно продублировать, то остается зависимость от провайдера. Влияние интернет-технологий — одновременная загрузка: по утрам, когда сотни и тысячи пользователей одновременно загружают свои VM, то задержки доступа к VS могут достигать недопустимых величин.

Надо отметить другое решение — Терминальный сервер (TS) для сетей, дополненных X-Window. Для Windows известны решения Citrix Metaframe и Microsoft Terminal Server. Для пользователя нет разницы — VDI или TS похожи, но при использовании TS изоляция между пользователями намного ниже. Один пользователь может создать значительную нагрузку на систему и мешать другим. Администрирование TS имеет свои особенности — надо тщательно подбирать программное обеспечение, которое необходимо пользователям, но не конфликтует с терминальным окружением. Программы Microsoft, как правило, интегрируются в терминальное окружение, но программы других поставщиков могут создавать проблемы и требуют тщательной установки. Любые изменения на Терминальном сервере касаются всех пользователей одновременно. Поэтому эксперименты над программным обеспечением на Терминальном сервере довольно опасны и могут иметь катастрофические последствия.

В VM можно даже дать права администратора пользователю и разрешить установку нового программного обеспечения, а при необходимости восстановить VM из резервной копии. Поэтому VM и VS важно внедрять на уровне выпускающих кафедр для совершенствования доступа к современным образовательным технологиям для ИТС.

Xen — технология виртуализации с упрощением требований к аппаратным ограничениям: “creating a world in which XenoServer execution platforms are scattered across the globe and available for any member of the public” — мир, в котором XenoServer разбросаны по всему миру и доступны для любого члена общества.

Xen интегрируется в «Облачные вычисления», позволяя управлять, передавать и таким образом продавать созданные «узлы». Важно, что Xen расширяет возможности развития новых технологий на уровнях администрирования и приложений в сетях. Xen позволяет одной VM (домен) вести себя так, как если бы было много VM. Каждый из этих доменов может запускать собственную операционную систему и существовать почти независимо от других доменов, работающих

на том же сетевом оборудовании. Каждая VM имеет собственный сетевой интерфейс, диски и память.

Отметим, что Xen отличается от эмуляторов VMware, Microsoft Virtual PC или с открытым исходным кодом QEMU. Работа эмулятора — запуск программы на процессоре моделирования, то есть со стороны приложения происходит замедление работы.

Xen реализуется непосредственно на процессоре на полной скорости, и лишь очень небольшие ресурсы Xen выделяет для управления. Поэтому Xen работает быстрее по сравнению с традиционными эмуляторами. Xen обеспечивает надежную изоляцию от сбоев, то есть любой сбой программного обеспечения на одной VM вряд ли повлияет на VS или другие VM. Это делает его полезным, особенно в условиях, когда нет уверенности в намерениях или уровне квалификации слушателей или студентов.

Xen обеспечивает дополнительный уровень абстракции между VM, пользователем и администратором VS. Учитывая повышенную гибкость, приложение может быть отделено от аппаратной части, полностью остановлено, запущено или перемещено. Основным недостатком Xen — работает только с операционными системами, которые были специально изменены, чтобы поддерживать его. Но запуск гостевых ОС возможен на достаточно современном оборудовании. Xen требует больше работы и навыков для установки и запуска VM по сравнению с чистым эмулятором программного обеспечения. Xen требует от пользователя освоения способа работы в гостевом домене, а не просто обычного запуска и работ с программами внешней эмуляции. Xen находится в стадии активного развития, но большая часть документации существует вне времени. В больших «серверных фермах», где каждый узел уже масштабируется до своих рабочих мест, Xen не то, что нужно, хотя разработчики (в том числе свободного программного обеспечения) работают даже на таких функциях для сред.

Отметим, что многие компьютеры даже с современной многозадачной операционной системой могут выполнять только одну инструкцию за один раз. Компьютер переключается между различными задачами так быстро, что задержки становятся незаметными. Виртуализация реализуется под руководством мультиплексированной операционной системы, которая работает над контролем задач и убеждается, что каждая получает свою долю процессорного времени. Операционная система должна планировать задания для запуска задач. С виртуализацией в Xen происходит тот же процесс, но место задач занимают операционные системы. Аспекты планирования обрабатываются ядром Xen, который работает на уровне выше гостевых операционных систем и называется гипервизором.

Посмотрим на то, как традиционно происходит процесс виртуализации и как это реализовано в Xen. Традиционная VM предназначена для имитации реальной машины во всех отношениях, она полностью перехватывает попытки доступа к аппаратным частям и производит их эмуляцию, при этом сохраняя функциональности программного обеспечения, реализуя полную совместимость с приложениями в VM. Это происходит на уровне VM, что делает ее работу заметно медленнее. Xen «обходит замедление» при помощи подхода, называемого паравиртуализацией (пара — аналогичные или близкие). Это не «настоящая» виртуализация, поскольку нет попыток обеспечить полную иллюзию VM. Xen представляет лишь частичную «абстракцию аппаратного обеспечения» на размещение операционной системы, подвергая некоторые аспекты VM — «ограничения на гостевых ОС» (которые необходимо знать), VM работает на Xen, и VM должны действовать соответствующим образом при взаимодействиях с определенным оборудованием в VS.

Большинство из этих ограничений, по определению, не заметны для пользователей VS. Для запуска под Xen ядро гостевой ОС должно быть модифицировано, например ОС должна спрашивать у Xen о выделении памяти, а не брать ее напрямую. Одна из целей проекта Xen состояла в том, чтобы эти изменения происходили в аппаратно зависимых битах гостевой операционной системы, не изменяя интерфейс между ядром и программным обеспечением на уровне пользователя VM. Эта цель проекта по уменьшению трудности перехода на Xen гарантирует, что существующие двоичные файлы будут работать не измененными на Xen ОС и что VM в большинстве случаев

будет действовать точно так же, как реальная машина, по крайней мере с точки зрения конечных пользователей. Поэтому Xen обменивает «виртуализацию без шва» на высокоэффективную «паравиртуализированную среду». Следует отметить цель таких работ — “Paravirtualization is necessary to attain high performance and strong resource isolation on uncooperative machine architectures such as x86” (Паравиртуализация необходима, чтобы достигнуть высокой производительности и сильной изоляции ресурсов на несовместной машинной архитектуре, такой как x86). Паравиртуализация не единственный способ для запуска VM. Отметим два конкурирующих подхода: полная виртуализация и виртуализация на уровне ОС.

В данный момент существуют три вида технологий виртуализации. Первая из них — полная виртуализация или эмуляция, в котором виртуальная машина представляет собой программное моделирование аппаратных средств, реальных или вымышленных. Продукты этой категории — VMware и QEMU.

С полной виртуализацией не измененная ОС «размещает» программу пользователя, которая эмулирует машину, на которой работает «гостевая» ОС. Это — популярный подход, потому что он не требует изменения гостевой ОС. У этого подхода является преимуществом то, что виртуализированная архитектура может абсолютно отличаться от архитектуры узла, например QEMU может моделировать процессор MIPS на узле IA-32 и потрясающем массиве других микросхем.

Однако этот уровень аппаратной независимости получается за счет огромного ограничения производительности и скорости. Неускоренный QEMU на порядок медленнее, чем собственное выполнение ОС, а ускоренный QEMU или VMware ESX сервер может ускорить эмулированную машину, если это та же самая архитектура, как и на используемом оборудовании. В этом контексте для нормального использования увеличенная аппаратная универсальность полного эмулятора — несущественное преимущество перед паравиртуализацией.

VMware является известным поставщиком продуктов полной виртуализации, с устойчивым набором инструментов и широкой поддержкой. Недавние версии VMware рассматривали проблему скорости рабочими инструкциями на ходу и динамически преобразовывали код, когда это было необходимо. Хотя этот подход изящен и не требует модификации гостевой ОС, это не дает высокого прироста скорости.

Второй путь — виртуализация на уровне ОС, где то, что виртуализируется, является операционной средой, а не полной машиной. FreeBSD и Контейнеры — пример таких подходов. Виртуализация ОС занимает позицию, которую операционная система уже обеспечивает или, по крайней мере, может обеспечить; достаточная изоляция, чтобы сделать все, что нормальный пользователь VM ожидает — программное обеспечение устанавливается в масштабе всей системы, системные библиотеки модернизируются в госте, не влияя на те, что в узле, и т. д. Таким образом, вместо того, чтобы эмулировать физические аппаратные средства, виртуализация ОС эмулирует полное пространство пользователя ОС, используя средства операционной системы.

FreeBSD и Контейнеры Соляриса — «зоны», являются двумя популярными реализациями виртуализации на уровне ОС. Оба получают из классического Unix chroot зону. Идея состоит в том, что заключенный в зону процесс может получить доступ только к частям файловой системы, которые находятся в соответствующем конкретно определенном каталоге, остальная часть файловой системы, насколько процесс может увидеть, просто не существует. Если установим ОС в каталог, то получаем полную виртуальную среду. Для улучшения изоляции между виртуальными машинами ограничиваются определенные системные вызовы и обеспечиваются виртуальные сетевые интерфейсы. Эти действия приносят большую пользу в деле обеспечения изоляции, но это не есть на столь же полезно или столь же универсально, как если бы это была законченная VM. Поскольку зоны совместно используют ядро, например, паника ядра переведет всю «ферму», находящуюся на одном аппаратном средстве, в нерабочее состояние. Однако, потому что они обходят издержки виртуализации аппаратных средств, виртуализированные машины могут работать с такой же скоростью, как собственное выполнение.

Виртуализации на уровне ОС и Xen дополняют друг друга, каждый подход является полезным в различных ситуациях, возможно даже их одновременное исполнение. Например, можно выделить пользователю единственный Xen VW, который он, в свою очередь, может поделить на многократные «зоны» и использовать по собственному усмотрению.

Отметим элементы интеллектуализации процессов управления на уровне баз данных и знаний в плане: поиска верных стратегий решений для моделей представлений знаний и интеграции функций в машине вывода на ряде уровней совершенствования элементов баз — объектов, контекстных описателей, функционалов от экспертов и администраторов для синтеза формализованных модулей процессов через менеджеров интегрированных проектов.

Требования международных стандартов EN50155, EN50121, NEMA TS2, E-Mark диктуют ускорение развития интерсервисов для интеграции процессов систем управления дорожным движением и управления транспортом.

Отметим сетевые элементы автоматизации процессов на уровне гранулированной техники: видеонаблюдения и передачи по сети голосовых сообщений с питанием от Ethernet (voice over IP, PoE); коммуникационных (Ethernet/IP, Gigabit Turbo Ring, Ring Coupling, Turbo Ring) и комбинированных (Wi-Fi и Turbo Roaming) сетей с безвентиляторными Industrial: Ethernet-коммутаторами, серверами, бортовыми компьютерами, медиаконверторами и модулями GSM/GPRS (с элементами Virtual Server, VPN, SMS Tunnel).

Выделим ряд новых сетевых элементов в гранулированной бортовой сети: блок управления, LIN, датчики (состава воздуха, давления и температуры хладагента, модуль управления воротами гаража); блок управления, CAN-Комфорт, датчики дождя и освещенности, переключатель освещения, блок управления двигателем; блок управления комбинациями приборов через CAN-Kombi (ходовая часть) и LIN и элементы модуля контроля генератора и аккумулятора через диагностический интерфейс по шине данных в LIN.

Общий ток к минусовой клемме батареи подается через сопротивление шунта (значение сопротивления уменьшено для снижения тепловыделения) в модуле данных батареи. Величина необходимого тока определяется через напряжение на сопротивлении шунта (пропорционально току) и вычисляется в модуле данных. Определение параметров батареи (токи зарядки и разрядки и температура батареи) выполняется в модуле данных и передается через диагностическую шину данных в LIN.

Диагностический интерфейс шин данных — элемент защиты блоков управления (через онлайн адаптацию при помощи диагностического тестера и базы знаний от производителя). Отметим варианты диагностических модулей для интерфейсов: CAN-комфорт, CAN-привод, CAN-ходовая часть, CAN-диагностика, MOST, CAN-Infotainment, CAN-Extended. Изменен протокол данных для подключения к CAN-диагностика тестера VAS («старый» протокол — Key Word 2000, «новый» протокол — UDS с ASAM/ODX) с учетом онлайн-адаптации всех блоков управления через базу данных от производителя. CAN-привод и CAN-Extended к узловым разъемам не подключены и соединены со жгутом проводов через обжимные соединители. Можно подключиться к линиям передачи данных блоков управления без демонтажа деталей обшивки и без снятия изоляции жгута проводов.

Колодка и CAN-узловой разъем на левой стойке, плата реле и предохранителей коммутационного блока, плата предохранителей и клемма подключения внешнего источника тока в водоводящем коробе, плата предохранителей справа на приборной панели и CAN-узловой разъем, плата реле и предохранителей справа в багажном отсеке, плата предохранителей и аварийный размыкатель батареи на плюсовой клемме батареи, держатель реле и кронштейн блока управления бортовой сети в пространстве для ног водителя, плата предохранителей слева на приборной панели — ряд коммутационных бортовых элементов современного транспорта.

Для обучения необходимо использовать ресурсы бортовых сетей (NT): шасси — Chassis-125Kb/s; движения — Powertrain-1Mb/s; телекоммуникаций — Infotainment/Telecom; диагностики — K-Line Diagnostic (KLD); промахов вождения — Fault tolerant; Сервисов: салона — Comfort

(подушки — Airbag, защиты — HVAG, дверей — Door, размещения — Seat, промахов — Pre-Crash; Сопровождения: Satellite, Squib, OSS, Rollover, Beltpret); Вождения — Gateway и специализированных бортовых систем: BC (Bort Computer) — бортовой компьютер; CON (Controller iDrive) — управление транспортом через джойстик iDrive; AFS (Active Front Steering) — активное рулевое управление; DME (Digital Motor Electronics) — электронная система управления двигателем; DSC (Dynamic Stability Control) — система динамической устойчивости; ESP (Electronic Stability Program) — система поддержания динамической стабильности; DTS (Dynamic Traction System) — система динамического контроля тяги; ETS (Electronic Traction Support) — электронное управление тягой.

Ряд NT интегрируют сервисы для гибкого взаимодействия процессов: Special Equipment of Logical Management of Signals (SELMS); Converter of Signals (CS), Transceiver of a Signal of Satellite Management (TSSM), Transmitter of Global Positioning System (TGPS); Wireless Radio Transmitter (WRT).

SELMS реализует виртуальные сетевые технологии обучения и управления транспортом. CS конвертирует сигналы радиоспутниковых каналов. TRITON через GSM, Code Division Multiple Access (CDMA) обеспечивает множественный доступ с кодовым разделением посредством спутниковой навигации. Trunk или Globalstar (вторичный канал связи), GPS или ГЛОНАСС/GPS, General Packet Radio Service (GPRS) реализуют веб-технологии в управлении транспортом. SiRF Star III с пониженным энергопотреблением и высокой чувствительностью может определять позицию не только по сигналам спутников, но и по слабым и переотраженным сигналам. TSSM реализуется на оборудовании спутниковой связи Thuraya и упрощает использование спутниковых каналов. Радиоконтроллеры на базе WML-24M, Flash-памяти, радиотрансивера, узла питания упрощают сбор информации на транспорте. Интеграция сервисов на уровне коммуникатора со средствами Wi-Fi и Bluetooth реализована в NAVSTAR с глобальной системой позиционирования — Global Positioning System-Satellite (GPSS): передает на пульт управления навигационной системе координаты; позволяет видеть взаимное расположение транспорта на отображаемой навигационной карте местности и находить наиболее короткий и удобный путь для транспорта.

Наукоемкость *e*-технологий требует развития стыков учебных планов (для подготовки бакалавров-техников, специалистов-магистров, кандидатов, докторов) специальностей подготовки кадров по *e*-технологиям обучения и управления для использования уникальных ресурсов промышленных и мобильных систем ИТС на всех этапах петли качества сервисов через создание в учебных заведениях междисциплинарных, многоцелевых творческих научно-технических институтов и центров концентрации интеллектуальных кадровых и инструментальных ресурсов, а также проведения работ по науке, технологиям и технике на базе *e*-технологий развития промышленной и мобильной механики, автотроники, телематики (матроники).

Список литературы

1. EPLAN Electric Process Plant Engineering 8th Professional ed. 1.9.6 Build 3297. — 2009.
2. Троелсен Э. C# 2008 и платформа .NET 3.5 Framework = Pro C# 2008 and the .NET 3.5 Framework / Э. Троелсен. — 4-е изд. — М.: Вильямс, 2009. — 1368 с.
3. Xen hypervisor 4.0.0 was released on 07 Apr 2010.
4. Xen hypervisor 4.0.1 was released on 25 Aug 2010.
5. xensource.com
6. xgu.ru
7. xen.org/products/xen_archives.html

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ
ВИДЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ****MATHEMATICAL MODELLING AND ESTIMATION OF PARAMETERS OF
VIDEOINFORMATION SYSTEM OF SUPERVISION ON TRANSPORT**

Рассмотрено математическое моделирование и оценка эффективности алгоритмов сжатия и восстановления изображений на основе пространственно-рекурсивного метода. Разработаны математическая модель и структуры видеоданных системы. Получены оптимальные значения параметров видеоданной системы.

Mathematical modeling and estimation of efficiency of the algorithms of image compression and restoration on the basis of a spatially-recursive method are considered. Mathematical model and structures of videodata system are developed. Optimum values of the parameters of video information system are received.

Ключевые слова: математическое моделирование, пространственно-рекурсивный метод, полигон, разбиение изображения.

Key words: mathematical modeling, space-recursive method, polygon and splitting of the image.

Р

ОСТ сложности антропогенных систем обострил проблему эффективного взаимодействия человека с машиной. Возникла острая необходимость создания эффективного для пользователя интерфейса.

В широком толковании этого понятия пользовательский интерфейс должен обеспечивать в конечном счете безопасную эксплуатацию систем, в том числе на транспорте, сбережение материальных, людских и прочих ресурсов. К одному из фундаментальных направлений развития пользовательского интерфейса принадлежит аппаратная реализация системных функций, ранее выполнявшихся человеком, чему в немалой степени способствует состояние современной электронной базы, характеризующее высоким уровнем интеграции электронных компонент на одном кристалле.

Системы с развитым уровнем внутренней интерпретации организационных и управляющих функций человека принято называть интеллектуальными. При этом их важнейшим атрибутом являются системы искусственного зрения (СИЗ), в анализе развития которых можно выделить системные аспекты. Одним из главных системных аспектов является тенденция приближения средств обработки видеоданной информации к источнику ее возникновения, обусловленная интенсивным развитием микроэлектронной элементной базы. Лучше других продвинулись в этом направлении робототехника и беспилотные летательные аппараты.

Обработка изображений с целью их распознавания является одной из центральных и практически важных задач при создании систем искусственного интеллекта для решения задач обеспечения безопасности и контроля над объектами, в том числе на транспорте.

Актуальность выбранной темы научных исследований объясняется ее отношением к проблемам мониторинга и визуального наблюдения за объектами транспортных процессов, а также формированием баз видеоданных и знаний об объектах транспортных систем.

В настоящий момент с появлением новой элементной базы в виде систем на кристалле и современных САПР на ее основе открылись новые возможности создания видеоданной систем (ВИС) обработки изображений. Сняты многие ограничения по сложности для проектирования ВИС, что должно способствовать решению основных задач хранения и передачи видеоданных техническими системами [1; 2]. В сложившейся ситуации актуальным является поиск новых

подходов и способов в обработке изображений, которые, с одной стороны, соответствовали бы особенностям восприятия видеоданных человеком, а с другой — были бы естественными для ЭВМ [3; 4, с. 38–43].

В работах [5, с. 88–92; 6, с. 36–40] предложены метод и алгоритмы для кодирования изображений с применением пирамидально-рекурсивного метода кодирования, в основе которого лежит принцип рекурсивного разбиения изображения с целью представления в виде структурированной совокупности семантически значимых единиц или опорных точек (ОТ) и правил их взаимосвязей (соединения). Причем выделение ОТ и разработка оптимальной структуры данных для их хранения и передачи является одной из сложнейших задач искусственного зрения [6; 7, с. 146–151].

В данной работе проводится математическое моделирование и исследование алгоритмов сжатия и восстановления изображений на основе пространственно-рекурсивного метода и построения математической модели оценки параметров ВИС.

Регулярность пирамидальных алгоритмов предопределяет их удобную структурную реализацию и эффективное использование в ВИС при хранении и передаче видеоданных, например относительную высокую степень сжатия при создании баз видеоданных и высокую производительность ВИС в процессе передачи (то есть возможность параллельной обработки) [8]. Однако возникает задача разработки математической модели для оценки оптимальных параметров ВИС: число ОТ, число уровней разбиения изображения, число полигонов и т. д.

Постановка задачи исследования. Современные мультимедийные и многомодальные подходы к подаче информации потребителю предполагают передачу текстов сообщений, сопровождаемых значительным количеством видео- и аудиоинформации. Среди этих трех видов представления информации видеоданные в наибольшей степени загружают ресурсы информационной инфраструктуры. Предлагаемый метод сжатия изображений для построения систем искусственного зрения на транспорте на основе рекурсивного разбиения и последующего выделения ОТ для представления хранения и передачи изображений является обоснованным и востребованным, однако необходимо определить эффективность такого подхода.

Каждая ОТ характеризуется своими абсолютными координатами и яркостью. При этом все ОТ равновероятно распределены в пределах всего исходного изображения. Процесс кодирования изображения представляется следующим образом: ОТ последовательно и в произвольном порядке наносятся на поле изображения; после появления очередной ОТ производится разбиение на одинаковые полигоны, если в соответствующем полигоне окажутся две опорные точки; полигон разбивается на равные части до тех пор, пока каждая опорная точка не окажется единственной в своем полигоне. Очевидно, количество возможных дроблений ограничено заданной дискретностью изображения. В итоге в завершении процесса кодирования будет получена неравномерная полигональная сетка, где одни полигоны имеют опорную точку, а другие — нет (то есть оказываются пустыми). В статье вводится новое понятие «пустой полигон», важное для достижения максимального сжатия по ОТ.

Для математического моделирования алгоритмов сжатия по ОТ введены следующие обозначения: n — число ОТ, равное числу заполненных (покрывающих ОТ) полигонов (рис. 1, а); m — максимальное число уровней разбиений, приводящее к размеру полигона в один пиксель изображения; d — число полигонов, полученных при разбиении исходного полигона; N — общее число пикселей исходного изображения. Очевидно, что $N = d^m$, K — число бит информации, необходимое для кодирования только местоположения ОТ, v — разрядность яркости ОТ.

Требуется оценить функцию $K = F(n, d, m)$ и найти оптимальное число полигонов после разбиения d , минимизирующее функцию K (то есть $F \rightarrow \min$). В нормированных единицах искомое отношение запишется в виде: $k = f(n_{\text{нор}}, d, m)$, где $k = K/N$, $n_{\text{нор}} = n/N$.

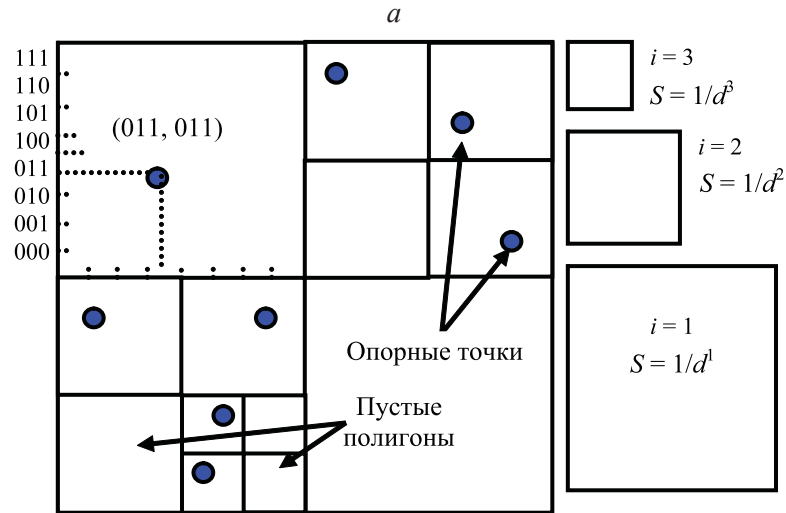
Разработка математической модели. Ввиду случайного характера формирования сообщения (то есть появления опорных точек), необходимо связать количество информации с вероятностями появления каждого сообщения источника. Эту задачу решил в 1946 г. К. Шеннон при кодировании двойного источника [9].

Учитывая то обстоятельство, что все ОТ появляются независимо друг от друга и с одинаковой вероятностью, то число бит информации для кодирования местоположений ОТ в общем виде будет $I_{\max} = n \cdot \log N$ [9].

Коэффициент сжатия определяется выражением

$$K = (n \cdot v + n \cdot \log N) / (n \cdot v + B), \text{ то есть } k = (n_{\text{нор}} \cdot v + n_{\text{нор}} \cdot \log N) / (n_{\text{нор}} \cdot v + b),$$

где $\log N$ — разрядность абсолютных координат ОТ, $k = K/N$ и $n_{\text{нор}} = n/N$, $E = \Delta n/n$.



б

X	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сжатое описание	Пр ₁	Пр ₂	Пр ₁	Пр ₁	Пр ₃	Пр ₂	Пр ₂	Пр ₃	Пр ₂
Код	11	∅*	11	11	1∅	∅*	∅*	1∅	∅*
10	11	12	13	14	15	16	17		
Пр ₂	Пр ₂	Пр ₃	Пр ₁	Пр ₂	Пр ₂	Пр ₂	Пр ₃		
∅*	∅*	1∅	11	∅*	∅*	∅*	1∅		

Рис. 1. Формирование сжатого описания:

a — исходное изображение;

б — сжатое описание, где * — информация о координатах ОТ в пределах полигона

Структура данных и способ сжатия изображений по ОТ подробно описаны в [5; 6]. Легко заметить, количество информации для хранения и передачи ОТ определяется выражением

$$K = \log d^* \left(n_{\text{нор}} m - (1/d^m) \sum_{\ell=1}^m r_{\ell} \cdot Z_{\ell} \right) \begin{cases} 3n_{\text{нор}} E(E+1), & \text{при } d = 2; \\ n_{\text{нор}} (2dE + d + 1) / (d-1), & \text{при } d > 2. \end{cases}$$

Данное выражение позволяет вычислить число бит информации, необходимое для определения местоположения ОТ в пределах исходного изображения. Однако для этого необходимо определить следующие функции:

$E = f(n_{\text{нор}}, d, m)$ — долю пустых полигонов по отношению к числу ОТ;

$Z_{\ell} = f(n_{\text{нор}}, d, m, \ell)$ — число заполненных полигонов различных уровней ℓ .

Для нахождения E и Z_{ℓ} рассмотрим следующую модель. Изображение представим полем площадью 1; ОТ последовательно наносятся на поле с равной вероятностью появления в любой точке, что приводит к дроблению соответствующих полигонов, при котором появляются как заполненные, так и пустые полигоны.

Обозначим: r_{ji} — суммарную площадь пустых полигонов i -го уровня после появления j -й

точки; S_{ji} — суммарную площадь заполненных полигонов уровня i после появления точки j ; p_{ji} — вероятность появления ОТ $j+1$ в пустом полигоне уровня i ; q_{ji} — вероятность появления ОТ $j+1$ в заполненных полигонах уровня i ; Z_{ji} — число заполненных полигонов уровня i после появления точки j ; Y_{ji} — число пустых полигонов уровня i после появления точки j .

Поскольку площадь полигона уровня i равна $1/d^i$, то, очевидно, ряд соотношений:

$$\sum_{\ell=1}^m (r_{j\ell} + S_{j\ell}) = 1, \quad \sum_{\ell=1}^m (p_{j\ell} + q_{j\ell}) = 1, \quad \sum_{\ell=1}^m Z_{j\ell} = \sum_{\ell=1}^m S_{j\ell} \cdot d^\ell = j, \quad Z_{j\ell} = S_{j\ell} \cdot d^\ell, \quad Y_{j\ell} = r_{j\ell} \cdot d^\ell,$$

где $j = 1, \dots, n$; $\ell = 1, \dots, m$; $r_{j\ell} = (d-1)/d$, $S_{11} = 1/d$, $p_{11} = (d-1)/d$ и $q_{11} = 1/d$.

Искомые величины Z_ℓ и E для вычисления по выражению K будут:

$$E(n_{\text{нор}}, d, m) = \frac{\sum_{i=1}^m Y_{ji}}{j}, \quad \text{при } j = n, \quad \text{и } Z_\ell(n_{\text{нор}}, d, m, \ell) = Z_{n,\ell}, \quad \text{где } \ell = 1, \dots, m.$$

После появления каждой ОТ величины p_{ji} и q_{ji} вычисляются по площадям r_{ji} , S_{ji} (рис. 2):

$$p_{ji} = r_{ji} / (1 - j(1/d^m)) \quad \text{и} \quad q_{ji} = (S_{ji} - Z_{ji}(1/d^m)) / (1 - j(1/d^m)).$$



Рис. 2. Возможные варианты появления опорных точек

В знаменателе выражений и числителе второго выражения учитываются те площади, где невозможны повторные появления ОТ из-за конечного числа пикселей на изображении.

Площади r_{ji} и S_{ji} вычисляются как математическое ожидание случайных величин, принимающих значение различных площадей с соответствующими вероятностями в зависимости от появления ОТ в заполненных или пустых полигонах для всех уровней.

Рассмотрим вычисление площади $r_{j+1,i}$. В зависимости от координат очередной ОТ возможны следующие ситуации (рис. 2):

1. Уменьшение площади: $r_{j+1,i} = r_{ji} - 1/d^i$. Это соответствует появлению $j+1$ ОТ в пустом полигоне i -го уровня; вероятность этого события p_{ji} (цифра 1 на рис. 2);

2. Увеличение площади: $r_{j+1,i} = r_{ji} + (d-2)/d^i$. Это соответствует появлению ОТ в заполненном полигоне более низкого уровня при условии, что ОТ вызвала цепочку дроблений до уровня ℓ , то есть появилось d новых полигонов, из них $d-2$ — пустых и два заполненных: предшествующий и текущий $j+1$ -й ОТ (цифра 2 на рис. 2). Пусть ОТ появилась в заполненном полигоне уровня $i-1$; вероятность этого события $q_{j,i-1}$. Тогда возможны две ситуации:

- с вероятностью $1/d$ потребуется более одного разбиения (цифра 2' на рис. 2);
- с вероятностью $1 - 1/d$ потребуется одно разбиение (цифра 2 на рис. 2).

Следовательно, интересующая нас вероятность при условии появления ОТ в полигоне уровня $i - 1$ составит $q_{j,i-1} \cdot (1 - 1/d)$. Если ОТ появилась в заполненном полигоне уровня $i - 2$ (вероятность $q_{j,i-2}$), то с вероятностью $(1/d)(1/d)$ потребуется более двух разбиений, а с вероятностью $1/d \cdot (1 - 1/d)$ — два разбиения, то есть до уровня i . Следовательно, интересующая нас вероятность составит $q_{j,i-1} \cdot 1/d \cdot (1 - 1/d)$. В итоге, суммируя вероятности по всем уровням, получим искомую вероятность: $\sum_{\ell=1}^{i-1} q_{j,i-\ell} \frac{1}{d^{\ell-1}} (1 - \frac{1}{d})$. Если $i = m$, то дальнейшие разбиения невозможны.

3. Увеличение площади: $r_{j+1,i} = r_{ji} + (d - 1)/d^i$ — этот случай аналогичен второму, но разница состоит в том, что цепочка разбиений не заканчивается на уровне i . Очевидно, что этот случай исключается при $i = m$ (цифра 3 на рис. 2). Проводя аналогичные рассуждения, получим вероятность этого случая: $\sum_{\ell=1}^{i-1} q_{j,i-\ell} \frac{1}{d^{\ell-1}} \frac{1}{d}$;

4. Площадь сохранится: $r_{j+1,i} = r_{ji}$ — эта ситуация возникает во всех остальных случаях, ее вероятность составит: $1 - p_{ji} - \sum_{\ell=1}^{\ell-1} q_{j,i-\ell} \frac{1}{d^{\ell-1}}$, при $\ell \leq m$.

Суммируя произведения площадей на вероятности соответствующих, рассмотренных выше четырех возможных исходов, после элементарных преобразований получим окончательное выражение:

$$r_{j+1,i} = r_{ji} - p_{ji} / d^i + 1/d^i \sum_{\ell=1}^{i-1} q_{j,i-\ell} \frac{1}{d^{\ell-1}} \begin{cases} (d-1)^2, & \text{при } i < m \\ d(d-2), & \text{при } i = m \end{cases}$$

По аналогии проведем вычисление площади $S_{j+1,i}$. Возможны следующие ситуации [5; 6]:

1. Уменьшение площади: $S_{j+1,i} = S_{ji} - 1/d^i$ с вероятностью q_{ji} ;
2. Увеличение площади: $S_{j+1,i} = S_{ji} + 2/d^i$ с вероятностью $\sum_{\ell=1}^{i-1} q_{j,i-\ell} \frac{1}{d^{\ell-1}} (1 - \frac{1}{d})$, при $i > m$.
 $\sum_{\ell=1}^{\ell-1} q_{j,i-\ell} \frac{1}{d^{\ell-1}}$, при $i = m$;
3. Увеличение площади: $S_{j+1,i} = S_{ji} + 1/d^i$ с вероятностью p_{ji} ;
4. Площадь сохраняется: $S_{j+1,i} = S_{ji}$ с вероятностью

$$1 - q_{ji} - p_{ji} \sum_{\ell=1}^{\ell-1} q_{j,i-\ell} \frac{1}{d^{\ell-1}} \begin{cases} 1 - \frac{1}{d}, & \text{при } i < m, \\ 1, & \text{при } i = m. \end{cases}$$

Учет предыдущих ситуаций позволяет вычислить общую площадь:

$$S_{j+1,i} = S_{ji} + 1/d^i (p_{ji} - q_{ji}) + 1/d^i \sum_{\ell=1}^{\ell-1} q_{j,i-\ell} \frac{1}{d^{\ell-1}} \begin{cases} 2(d-1), & \text{при } i < m, \\ 1, & \text{при } i = m. \end{cases}$$

А окончательные рекуррентные выражения:

$$Y_{j+1,1} = Y_{j,1} + \frac{\begin{cases} (d-1)^2, & \text{если } \ell < m \\ d(d-2), & \text{если } \ell = m \end{cases} \cdot \sum_{\ell=1}^{m-1} (1-d)^{\ell-m} Z_{j1} - Y_{j1}}{d^\ell - jd^{\ell-m}},$$

$$Z_{j+1,1} = Z_{j,1} + \frac{\begin{cases} 2(d-1), & \text{если } \ell < m \\ 2d, & \text{если } \ell = m \end{cases} \cdot \sum_{\ell=1}^{m-1} (1-d)^{\ell-m} Z_{j1} - Z_{j1} (1-d^{\ell-m})}{d^\ell - jd^{\ell-m}}.$$

Оценка оптимальных параметров ВИС. Рассмотренная математическая модель позволяет вычислить значение количества информации (k) (см. постановку задачи) по следующей схеме:

- 1) вычисляются числа заполненных и пустых полигонов (Y_{ji}, Z_{ji}), при заданных ℓ, m, d, i и j ;
- 2) вычисляются E и Z_ℓ , где $\ell = 1, \dots, m$;
- 3) вычисляется k .

Для оценки эффективности предложенного способа кодирования информации о расположении ОТ будем сравнивать с теоретическим минимумом (рис. 3).

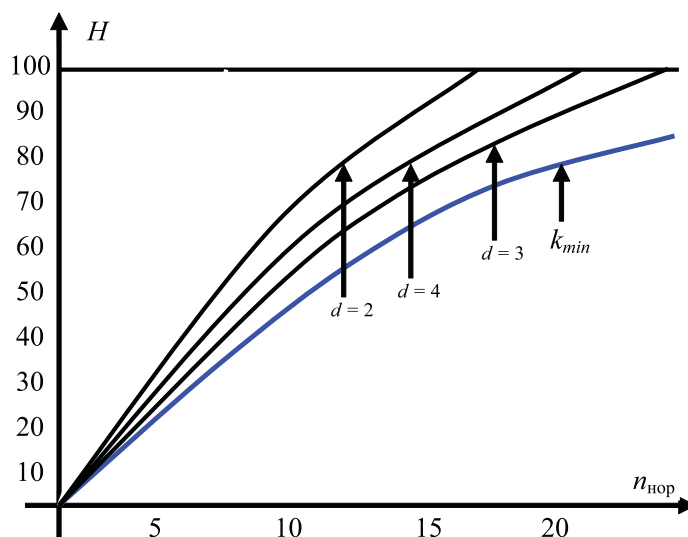


Рис. 3. Степени приближения к энтропии при различных значениях d

На поле изображения, содержащем N пикселей, n ОТ могут распределиться $C_N^n = \frac{N!}{n!(N-n)!}$ способами. С учетом равной вероятности распределения ОТ все комбинации независимы. Следовательно, количество информации, необходимое для кодирования любой комбинации, составит [9]:

$$H = \log C_N^n = k_{\min} = -n_{\text{нор}} \log n_{\text{нор}} - (1 - n_{\text{нор}}) \log(1 - n_{\text{нор}}).$$

Данное выражение позволяет вычислить энтальпию источника H , но ничего не говорит о способе кодирования, при котором она достигается [9]. Анализ зависимости $E(n_{\text{нор}})$ при различных d, m позволяет утверждать, что E мало зависит от m и при $N = d^m > 10^3$ этой зависимостью можно пренебречь (ошибка на уровне десятых долей процента). Из графика на рис. 3 следует, что $d = 3$ или 4 являются оптимальными.

Заключение

В заключение следует отметить основные выводы и результаты аналитической модели, которые можно рассматривать и как основные черты описанного рекурсивного метода для представления и передачи опорных точек изображений:

- применение пирамидально-рекурсивного метода при нахождении ОТ изображения является важным подходом для построения систем искусственного зрения на транспорте;
- предложенная структура видеоданных и полученная в результате проведенного математического моделирования математическая модель для оценки параметров ВИС позволяют абстрагироваться от исходного многомерного скалярного или векторного поля, работать с плоским графом (регулярным деревом), сохраняющим в то же время все свойства многомерного поля — исходного изображения;

— оптимальным числом полигонов после разбиения при проектировании систем кодирования на основе предложенного метода кодирования по опорным точкам с равновероятным их распределением на исходных изображениях является $d = 3$;

— предложенный метод оказывается эффективным для класса изображений с равномерным распределением ОТ, когда количество ОТ не превышает 30 % от общего количества точек исходного изображения.

Список литературы

1. Немудров В. Г. Системы на кристалле. Проектирование и развитие / В. Г. Немудров, М. Мартин. — М.: Техносфера, 2004. — 216 с.
2. Твердотельная революция в телевидении / Ш. С. Фахми [и др.]. — М.: Радио и связь, 2006. — 350 с.
3. Зубарев Ю. Б. Видеоинформационные технологии систем связи: моногр. / Ю. Б. Зубарев, Ю. С. Сагдулаев, Т. Ю. Сагдулаев. — М.: Спутник+, 2011. — 296 с.
4. Костикова Е. В. Сопряженное проектирование на базе реконфигурируемых систем на кристалле / Е. В. Костикова, Ш. С. Фахми // Информационно-управляющие системы. — 2010. — № 3.
5. Костикова Е. В. Пространственные алгоритмы кодирования изображений / Е. В. Костикова, Е. И. Колесников // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. — 2011. — № 3.
6. Костикова Е. В. Исследование рекурсивных алгоритмов сжатия и восстановления изображений / Е. В. Костикова, Е. И. Колесников, С. С. Шагаров // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». — 2011. — № 4.
7. Бабуринов В. А. Рекурсивные алгоритмы анализа и представления изображений для систем мониторинга на транспорте / В. А. Бабуринов, Ш. С. Фахми, Е. В. Костикова // Транспорт России: проблемы и перспективы—2011: тр. Всерос. науч.-практич. конф. — СПб.: Изд-во ИПТ РАН, 2011.
8. Александров В. В. Представление и обработка изображений. Рекурсивный подход / В. В. Александров, И. Д. Горский. — Л.: Наука, 1985.
9. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. — М.: ИЛ, 1963. — 832 с.

УДК 681.322

В. Д. Чертовской,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ НА СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

SOLVING OF THE PROBLEM OF DYNAMIC PROGRAMMING WHEN PLANNING AT THE SHIPBUILDING ENTERPRISE

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. Процесс планирования на судостроительном предприятии становится все более динамичным и интеллектуальным. Исследование интеллектуальных организационных систем управления предполагает решение следующих **проблем**:

- 1) согласование экономических интересов структурных элементов;
- 2) координация динамических свойств элементов.

Для решения этих проблем необходимо предварительно провести математическое описание системы.

При описании следует учитывать такие особенности этих систем:

- 1) многоуровневую структуру систем;

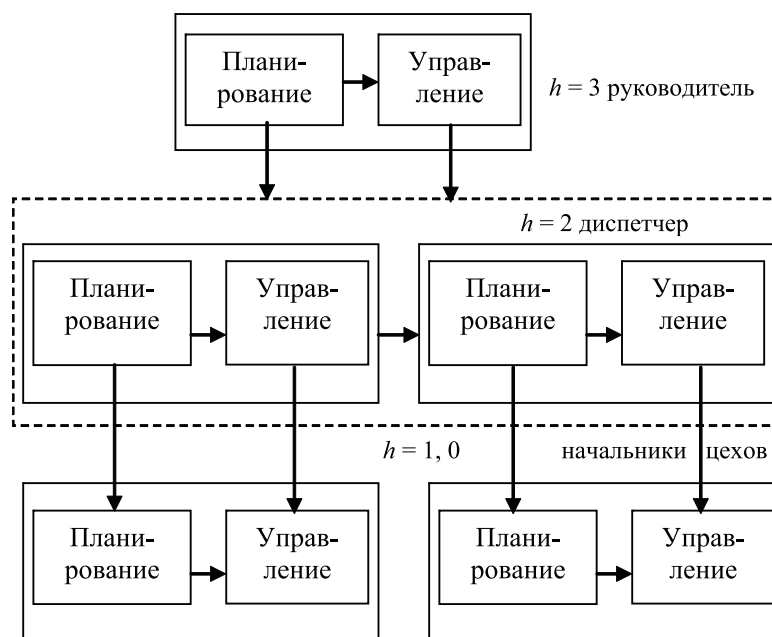


Рис. 1. Трехуровневая структура системы

2) наличие в каждом структурном элементе относительно самостоятельных, связанных процессов планирования и управления;

3) динамичность процесса планирования;

4) изменение цели в процессе функционирования среды.

Эти особенности позволяет учесть глобальный однородный метод [1]. Однородный метод позволяет к тому же однотипно описывать как процесс планирования, так и процесс управления.

Процесс планирования описывается следующим образом:

$$P(T) \geq R(T), \quad (1)$$

$$P(t_i) = P(t_{i-1}) - p(t_i), \quad (2)$$

$$z(t_i) = Az(t_{i-1}) + Bp_1(t_{i-1}), z(0) = z_0,$$

$$i = 1, N, t_i = iv, t_0 = 0, T = Nv, \quad (3)$$

$$\mathbf{p}(t_i) = \mathbf{Cz}(t_i), \quad (4)$$

$$\mathbf{Dp}_1(t_i) \leq \mathbf{b}(t_{i-1}), \quad (5)$$

$$G = -\mathbf{FP}(T) \rightarrow \min, \quad (6)$$

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; $T = Nv$.

Для описания процесса управления задача немного трансформируется.

Объект управления системы может быть представлен как

$$\mathbf{z}(t_i) = \mathbf{Az}(t_{i-1}) + \mathbf{Bu}(t_{i-1}), \quad (7)$$

$$\mathbf{y}(t_i) = \mathbf{Cz}(t_i), \quad (8)$$

$$\mathbf{Du}(t_i) \leq \mathbf{b}(t_{i-1}). \quad (9)$$

Управляющая часть:

$$\boldsymbol{\varepsilon}(t_i) = \mathbf{p}(t_i) - \mathbf{y}(t_i), \quad (10)$$

$$J = \sum_{i=0}^N \{ \mathbf{C}_1 \boldsymbol{\varepsilon}(t_i) + \mathbf{C}_2 \mathbf{u}(t_i) \} \rightarrow \min, \quad (11)$$

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; $T = Nv$.

Нетрудно заметить, что в обоих случаях используется локальная задача динамического линейного программирования (ДЛП), представляющая собой в первом приближении совокупность задачи широко известного статического линейного программирования (СЛП) и системы разностных уравнений.

Постановка задачи. Чтобы исследовать свойства такой трехуровневой системы, необходимо решить задачу ДЛП.

Ее решение возможно несколькими способами.

А. Прямое решение с применением алгоритма Р. Габасова.

Б. Преобразование задачи ДЛП в задачу СЛП и решение последней одним из известных способов.

В. Компьютерное решение с использованием языка программирования MatLab или пакета SIMULINK в рамках MatLab.

Первый способ связан со сложным алгоритмом. К тому же отсутствуют стандартные отлаженные программы, построенные на основе этого алгоритма.

Второй способ освещен в работе [2], являясь следствием первого способа: при его анализе обнаружено, что в процессе решения осуществляется преобразование ДЛП — СЛП.

Второй способ позволяет решать проблему согласования экономических интересов элементов как в процессе планирования, так и в процессе управления. Решение с помощью второго метода проблемы координации динамических свойств существенно затруднено.

Третий способ достаточно универсален и позволяет решать обе проблемы. Рассмотрим его более подробно.

Решение задачи. Иными словами, решение проблемы третьим способом связано с умением проводить компьютерное моделирование задачи ДЛП. Отдадим предпочтение варианту с применением пакета SIMULINK как более наглядному.

Рассмотрим три аспекта моделирования:

- 1) отдельного элемента;
- 2) системы элементов;
- 3) перехода на выпуск новой продукции.

Моделирование отдельного элемента возможно двумя путями (рис. 2). Характерно, что они дают на выходе одинаковые результаты, что подтверждает мысль о том, что задача СЛП выступает как цифровой элемент с большим числом ступеней.

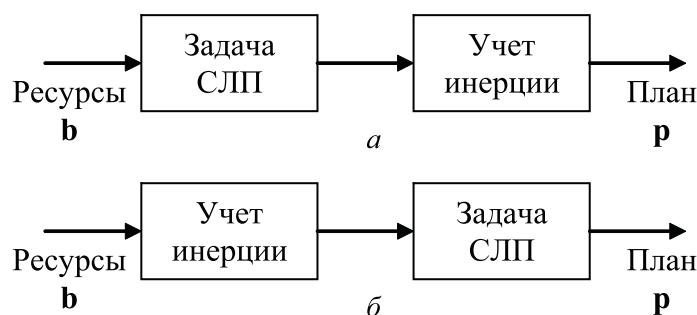


Рис. 2. Модели задачи ДЛП

По своим свойствам она близка к непрерывному линейному безынерционному элементу. В то же время «физическая» сущность лучше отражается, на наш взгляд, на рис. 2, б. Все инерционности в подготовке ресурсов и выпуске продукции совмещены в первом блоке.

Не представляет труда моделирование перехода на выпуск новой продукции (рис. 3). На рис. 3 блоки UU1 и UU2 отражают расчет (статического) старого и нового планов выпуска продукции.

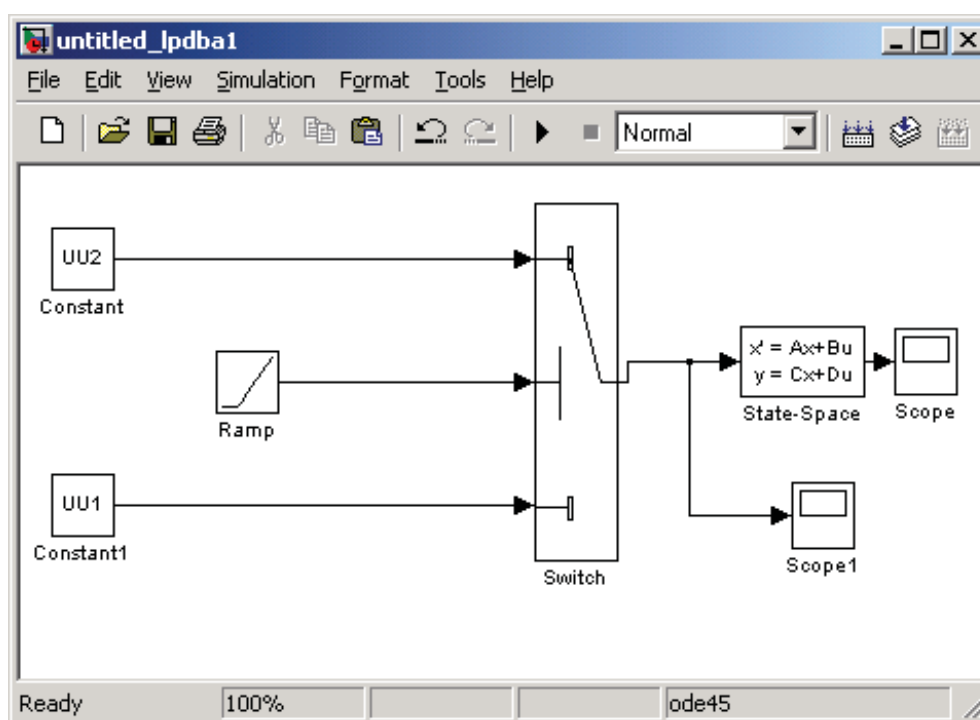


Рис. 3. Модель процедуры перехода на выпуск новой продукции

Заметим, что предыдущие модели СЛП для отдельных элементов автономны и потому для их реализации могут использоваться любые числовые задачи СЛП из любых учебников и учебных пособий, при этом ставится задача определения оптимального плана (выход) при известных числовых данных.

При исследовании цепочки горизонтально или вертикально связанных элементов задача СЛП ставится иначе. Задан план и другие числовые данные. Необходимо определить необходимые ресурсы (вход). Полученный результат для входа данного элемента должен служить выходом предыдущего элемента.

Для генерации числовых данных таких соединений автором разработан и реализован алгоритм, базирующийся на алгоритме Р. Габасова для отдельного элемента.

Пример реализации модели диспетчерского уровня с использованием сгенерированных числовых данных показан на рис. 4.

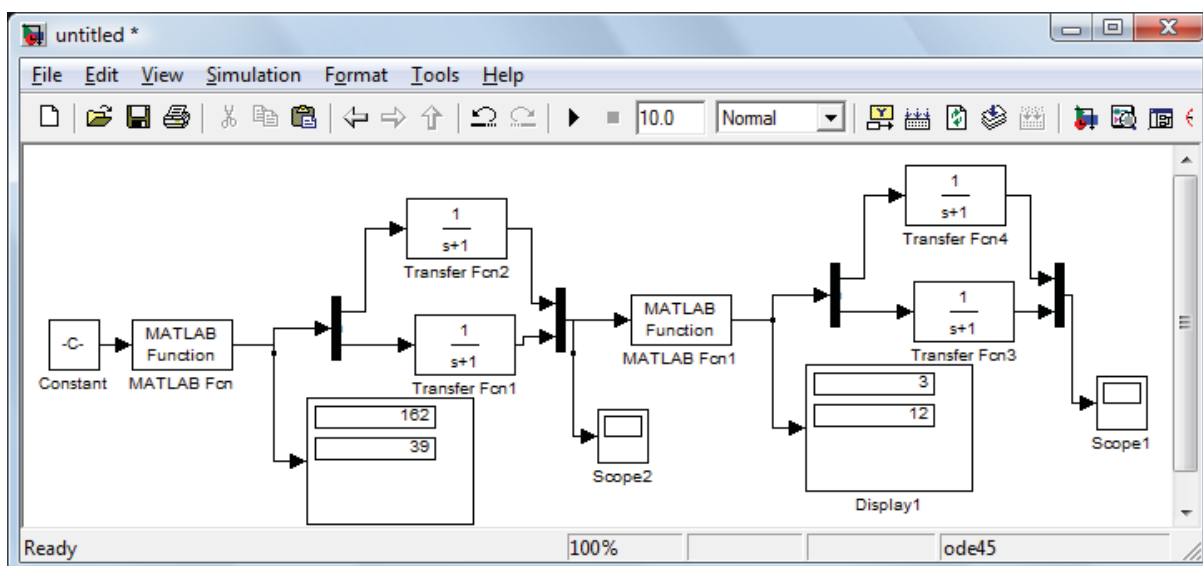


Рис. 4. Модель процесса планирования диспетчерского уровня

Перейдем к рассмотрению процесса управления. Для его реализации на диспетчерском уровне автору пришлось дополнительно разработать в продукте MatLab элемент модели СЛП с двумя входами.

Модель цепочки элементов процесса управления, использующая разработанный элемент и сгенерированные числовые данные, приведена на рис. 5.

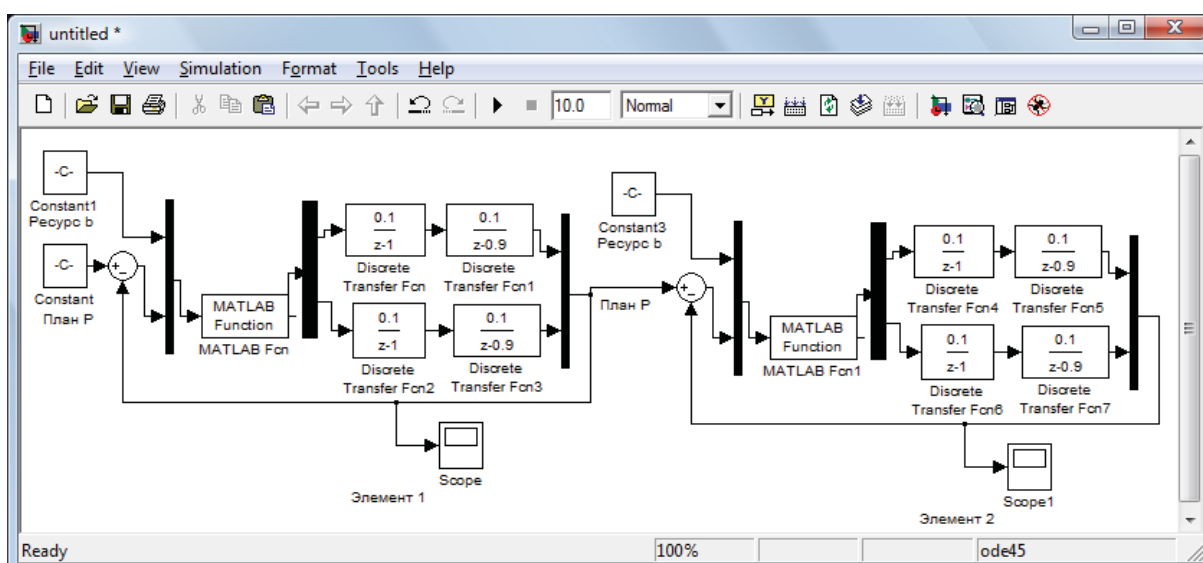


Рис. 5. Модель процесса управления диспетчерского уровня

Решение обеих ранее указанных проблем осуществляется целенаправленным изменением параметров системы с последующей оценкой полученных результатов.

Проблема согласования экономических интересов решается в процессе управления так же, как в процессе планирования.

Координация динамических свойств требует формирования набора свойств (векторного свойства). В качестве векторного свойства выберем ковариантность по входному сигналу и неколебательность переходного процесса.

Второе свойство легко проверяется на различных наборах параметров модели системы.

Такой способ решения позволяет рассмотреть любой частный случай указанных проблем, однако не дает возможности выявления общих закономерностей.

Заключение. Таким образом, показана возможность решения названных проблем компьютерным методом как для процесса планирования, так и для процесса управления. Особо отметим, что метод моделирования создает предпосылки для аналитического (алгоритмического) решения проблемы координации динамических свойств.

Список литературы

1. Чертовской В. Д. Интеллектуализация автоматизированного управления производством / В. Д. Чертовской. — СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2007. — 164 с.
2. Советов Б. Я. Теоретические основы автоматизированного управления: учебник / Б. Я. Советов, В. В. Цехановский, В. Д. Чертовской. — М.: Высш. шк., 2006. — 463 с.

УДК 004.031.42

С. С. Соколов,
канд. техн. наук,
СПГУВК;

Н. А. Беляева,
доцент,
СПГУВК

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ

FUNCTIONAL STRUCTURE OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE TRANSPORT AND STORAGE INFRASTRUCTURE

В представленной научной работе рассматривается построение функциональной модели автоматизированной системы управления транспортными объектами, входящими в состав транспортно-складской инфраструктуры. Предварительно проведенный анализ объектов позволил сформировать единые подходы к их автоматизации, с учетом структурных особенностей.

The scientific work is devoted to constructing the functional model of the automated control system of transport objects included into the structure of the transport and storage infrastructure. Preliminary analysis of objects has allowed to form common approaches to automation, taking into account the structural features.

Ключевые слова: автоматизированная система, автоматизация на транспорте, единое информационное пространство, транспортные системы.

Key words: automated system, automation of transport, unified information space, transport systems.

ПРОВЕДЕННЫЙ анализ программных средств управления в различных отраслях народного хозяйства позволяет сделать вывод, что на данный момент единого комплекса программ или автоматизированной системы, объединяющей в себе все процессы транспортных объектов, задействованных в процессе движения и обработки грузов, нет. Все программное обеспечение имеет четко выраженную типовую основу, однако при этом в каждом отдельно взятом случае видна специфика той или иной отрасли народного хозяйства, которая зависит как от параметров, определенных видом транспорта, так и от параметров, определенных заказчиком.

В целом автоматизация процессов управления транспортно-складской инфраструктурой предназначена для значительного сокращения издержек логистического планирования. Как результат оптимизации, уменьшаются ошибки планирования и сокращается время доставки груза.

Автоматизация процессов управления транспортно-складской инфраструктурой призвана в первую очередь решать следующие задачи:

1. Упорядочивание движения груза.
2. Ведение единого учета грузопотоков.
3. Оптимизация деятельности предприятия по доставке грузов в крупных городах и регионах, оптимизация перевозок и сокращение затрат на транспорт.
4. Осуществление планирования, учета и контроля процессов, связанных с отгрузкой и доставкой товаров и грузов;
5. Сокращение издержек на доставку грузов.
6. Повышение качества обслуживания клиентов.
7. Обеспечение надежности работы всей транспортно-складской инфраструктуры.
8. И другие.

Как следствие, должна быть создана единая система упорядочивания грузоперевозок, позволяющая делать анализ и проводить среднесрочное и долгосрочное планирование развития транспортной отрасли.

Рассматривая в процессе автоматизации транспортно-складскую инфраструктуру как объект, можно выделить следующие виды субъектов:

- конечный потребитель;
- оптово-дистрибьюторские компании;
- транспортно-логистические компании;
- экспедиторские компании;
- курьерские службы;
- магазины;
- инкассаторские службы;
- интернет-магазины;
- другие субъекты, осуществляющие деятельность по сопровождению движения и доставке груза.

Исходя из вышесказанного, требуется автоматизированное управление логистической информацией в реальном масштабе времени, связанной с доставкой грузов, корреспонденции и т. п. При работе в автоматизированном рабочем месте планирования и сопровождения рейсов логист и/или диспетчер должен контролировать распределение грузов по автотранспорту, исполнение заказов на доставку, как в пути, так и после прибытия транспорта на склад с использованием систем GPS-мониторинга.

Следует выделить основные возможности системы управления транспортно-складской инфраструктурой:

- управление адресами доставки;
- управление заказами на доставку;
- управление графиками доступности транспорта и работы водителей;
- автоматическое и ручное планирование маршрутов доставки;
- сопровождение рейсов в пути;
- учет затрат и доходов по рейсу;
- анализ грузоперевозок.

Возможность интеграции с системами GPS мониторинга транспорта [1].

Рассмотрим разработанную типовую функциональную модель автоматизированной системы управления транспортно-складской инфраструктурой (АСУ ТСИ).

На рис. 1 представлены основные модули системы.

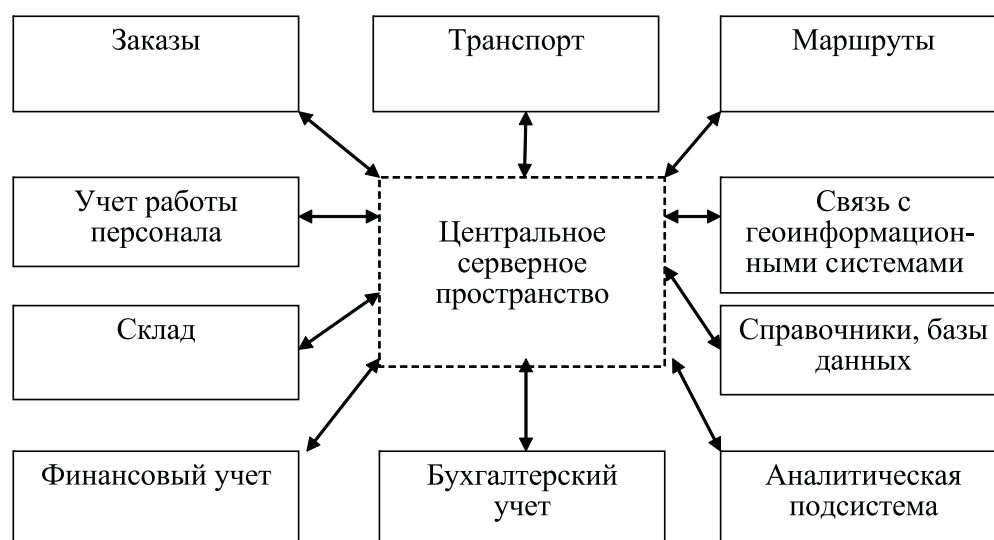


Рис. 1. Составные части АСУ ТСИ

Схема отражает типовые процессы, требующие автоматизации, однако на практике возможно расширение, сужение и конкретизация составных частей.

Рассмотрим более подробно узловые модули АСУ ТСИ.

Модуль «Заказы» отвечает за создание, обработку, редактирование заказов и выполнение системных действий, связанных с поступлением новых заказов (рис. 2).



Рис. 2. Модуль «Заказы»

Основная цель функционирования данного модуля — управления транспортом (распределение, движение, учет, ремонт и т. п.).

Исходя из схематичного представления систем модуля «Транспорт» (рис. 3), можно определить следующие функции его работы:

- распределение транспорта по заказам;
- распределение транспорта по имеющимся внутренним задачам ТСИ;
- наблюдение за движением транспорта;
- обеспечение контроля дорожной ситуации и безопасности перевозок;
- автоматизированное составление расписаний движения транспорта;
- и другие.

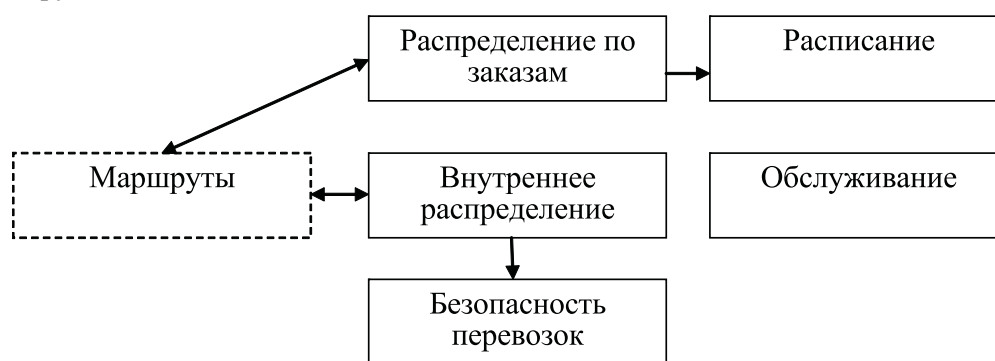


Рис. 3. Модуль «Транспорт»

Автоматизированное формирование маршрутов доставки должно представлять собой растровую или векторную карту, совмещенную с определенным алгоритмом оптимизации работы транспортных средств. Критерии оптимальности — минимум пробега, максимум использования ресурсов транспортного средства по вместимости и грузоподъемности.

С целью организации качественной и полнофункциональной работы склада с учетом возможностей расширения в модуль «Склад» АСУ ТСИ следует закладывать следующие информационные процессы:

- управление складской техникой;
- перемещение груза;
- формирование схемы размещения груза;
- мониторинг работ;
- учет рабочего времени;
- контроль условий хранения;
- распределение персонала по местам работы;
- охранная противопожарная система (рис. 4).

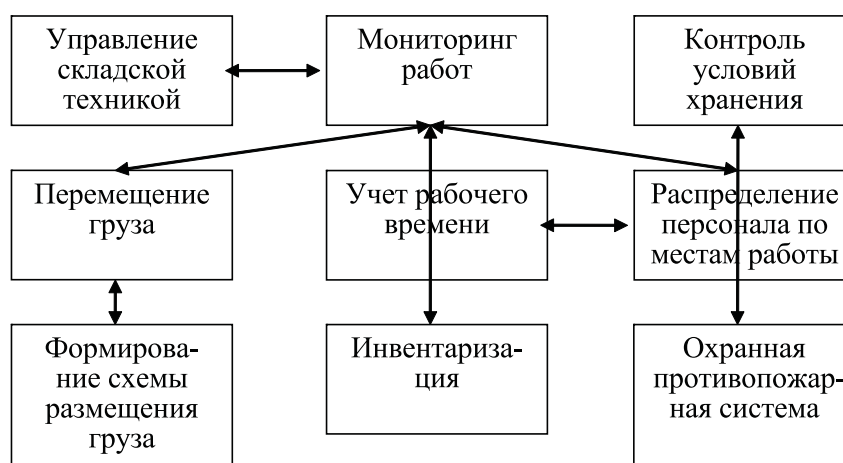


Рис. 4. Модуль «Склад»

Связь с геоинформационными системами призвана обеспечить привязку процессов, происходящих в АСУ ТСИ, к конкретной местности. Также данный модуль подразумевает возможность контроллинга движения транспортных средств при помощи GPS-технологий или технологий ГЛОНАСС.

Аналитическая подсистема позволяет проводить сводные и промежуточные аналитические процедуры.

Для обозначения аналитических технологий и средств в целом принято использовать термин “Business Intelligence” или сокращенно — BI. Понятие BI объединяет различные средства и технологии анализа и обработки данных масштаба предприятия. На их основе создаются BI-системы. Их цель — повысить качество информации для принятия управленческих решений.

Центральное серверное пространство имеет цель — обеспечение единого информационного пространства существования АСУ ТСИ и обработки данных ее процессов [2].

Рассмотрим отдельный модуль системы АСУ ТСИ применительно к организации, в которой он применяется, а следовательно, в отрыве от остального информационного пространства АСУ ТСИ. Становится понятно, что ряд специфических механизмов и технологий, присутствующих в конкретной организации, могут и должны оказать влияние на перечень предъявляемых требований. Например, если в организации уже функционирует система идентификации и аутентификации, скажем Kerberos, то в требованиях к АСУ ТСИ должна быть указана необходимость поддержки протокола Kerberos.

Подсистема безопасности АСУ должна работать на уровне ядра АСУ таким образом, чтобы ни одно значимое действие в рамках системы — будь то действие пользователя или процесса — не происходило без участия подсистемы безопасности.

Механизмы безопасности подсистемы должны быть реализованы в форме широко известных в мире, опробованных и одобренных стандартов и протоколов.

Подсистема безопасности АСУ ТСИ должна обеспечивать замкнутое хранение данных, связанных с АСУ (собственно модулей системы, системных и прикладных данных) таким образом, чтобы:

- 1) невозможно было получить логический доступ к указанным данным вне рамок работы приложения АСУ;
- 2) любые перемещения данных из/в систему происходили под контролем подсистемы безопасности.

Для определения единообразного уровня доступа субъектов к информационным объектам, являющимся первичной информационной единицей, система должна предусматривать возможность следующего распределения доступа:

- к группе или нескольким группам объектов;
- объекту;
- набору частей объекта.

Кроме доступа к конкретным информационным объектам, должно быть предусмотрено разделение доступа к функциям, выполняющим процессы над объектами. Отдельно должны быть выделены функции, выполняющие массовые изменения данных в информационных объектах.

Схема определения доступа должна предусматривать возможность группового или ролевого доступа, то есть создание абстрактного профиля прав пользователя. При включении нового пользователя в конкретную группу он автоматически должен наследовать все права, присущие пользователям данной группы. При этом суммарные права пользователя должны проверяться на непротиворечивость, должен применяться принцип поглощения более широкими разрешительными правами более узких (суммирование прав) и принцип преимущества запретительных прав над разрешительными. Также должна присутствовать возможность копирования (наследования) прав пользователя с возможностью последующей корректировки.

Для каждого информационного объекта должен существовать владелец объекта (с возможностью в дальнейшем заменить одного владельца на другого) с полными правами доступа. Сис-

тема должна контролировать обязательное наличие хотя бы одного пользователя (владельца или администратора) для каждого информационного объекта.

Пользовательский интерфейс настройки прав доступа должен быть прост и интуитивно понятен.

АСУ ТСИ должна предусматривать дополнительные возможности по установке разграничений доступа к информационным объектам или их частям, а также возможность внесения изменений и дополнений к уже существующим модулям без нанесения ущерба имеющейся информации [4].

Это лишь часть первичных требований по работе АСУ как типового объекта управления процессами ТСИ. Изложение полного списка требований и рекомендаций выходит за рамки данной работы.

Список литературы

1. Официальный сайт компании «Нова-ИТ» [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <http://nova-it.ru>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. русский (дата обращения: 23.02.2012).
2. *Нырков А. П.* Методика проектирования безопасных информационных систем на транспорте / А. П. Нырков, С. С. Соколов, А. В. Башмаков // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. — 2010.
3. *Вихров Н. М.* Модели технологических процессов на транспорте / Н. М. Вихров, А. П. Нырков; под ред. Д. В. Гаскарова. — СПб.: Судостроение, 2002. — 422 с., ил.
4. Сайт, посвященный открытым системам [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.pashanoid.ru/renton/open.html>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. русский (дата обращения: 21.11.2011).

УДК 621.3.087.9

Ю. Я. Зубарев,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК;

А. А. Горячев,
аспирант,
СПГУВК

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ СУДОВЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ РАЗБРОСА ПАРАМЕТРОВ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

PROBABILISTIC QUALITY ASSESMENT OF MARINE AUTOMATIC SYSTEMS, CONSIDERING THE SCATTER OF THE PARAMETERS OF THE INDIVIDUAL ELEMENTS

Рассматриваются вопросы определения вероятностных характеристик показателей качества судовых автоматизированных систем с учетом разброса их параметров. Определяются выражения для размеров отдельных конфигураций.

The synthesis of optimal plans of computational experiment and on the base of it the probabilistic assessment of indicators of marine automatic systems is determined, considering the scatter of their parameters. The expression for the size of the separate plans of configurations and frequencies of the experimental points in the spectra of these plans is determined.

Ключевые слова: вероятностные характеристики, разброс параметров, план вычислительного эксперимента.

Key words: probabilistic characteristics, scatter of parameters, the plan of the computational experiment.



При проектировании судовых автоматизированных систем (САС) во многих случаях необходимо учитывать разброс параметров отдельных элементов.

При оценке влияния разброса параметров необходимо совокупность значений параметров отдельных элементов судовой САС $x_1, x_2, \dots, x_n$ рассматривать как n -мерный случайный вектор, а совокупность значений показателей качества процессов $K_1, K_2, \dots, K_n$ как m -мерный случайный вектор, определенный на множестве реализаций САС. Если расчетные значения показателей качества процессов находятся в заданных пределах, но незначительно отличаются от максимального допустимых значений, то в результате разброса вышеуказанных параметров действительные значения этих показателей могут выйти за допустимые пределы.

Для учета влияния разброса параметров необходимо, кроме значений отдельных показателей качества, вычислять их вероятностные характеристики, то есть математические ожидания, дисперсии, а также вероятность того, что их значения не выйдут за заданные пределы. Определение вероятностных характеристик вектора показателей в самом общем виде является чрезвычайно сложной задачей.

Применение методов статистических испытаний путем многократного моделирования процессов в судовых автоматизированных системах приводит к большим затратам временных и машинных ресурсов. Поэтому для решения этой задачи предлагается использовать методы планирования вычислительного эксперимента.

Выражения для показателей качества процессов в САС могут быть разложены в многомерный ряд Тейлора в окрестностях точки, в которой каждый исследуемый параметр принимает значение, равное его математическому ожиданию.

Разложим выражения для показателя в ряд Тейлора до второго члена включительно. Тогда

$$K(x_1, x_2, \dots, x_n) = K(x_{1m}, x_{2m}, \dots, x_{nm}) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial K}{\partial x_i} \right)_m (x_i - x_{im}) + \\ + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial^2 K}{\partial x_i^2} \right)_m (x_i - x_{im})^2 + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^n \left(\frac{\partial^2 K}{\partial x_i \partial x_j} \right)_m (x_i - x_{im})(x_j - x_{jm}). \quad (1)$$

Для упрощения расчетов будем вычислять числовые характеристики отклонений показателей качества, а не самих значений показателей, так как это позволяет перейти к операциям над центрированными случайными величинами.

Будем считать, что случайные отклонения параметров не коррелированы между собой и подчиняются одному из законов распределения (нормальному, равномерному или трапецеидальному). Тогда значения нечетных моментов равны нулю, а выражения для дисперсии и четвертого центрального момента показателей примут вид:

$$D[K] = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial K}{\partial x_i} \right]^2 D[x_i] + \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial^2 K}{\partial x_i^2} \right]^2 \cdot \{\mu_4[x_i] - (D[x_i])^2\} + \\ + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^n \left[\frac{\partial^2 K}{\partial x_i \partial x_j} \right]^2 D[x_i] D[x_j], \quad (2)$$

$$\mu_4[K] = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial K}{\partial x_i}\right)^4 \mu_4[x_i] + 6 \sum_{i,j=1}^n \left(\frac{\partial^2 K}{\partial x_i \partial x_j}\right)^2 D[x_i] D[x_j]. \quad (3)$$

Как видно из вышеизложенного, при использовании разложения в ряд Тейлора до второго члена включительно, второй и четвертый моменты закона распределения показателя зависят от значений второго и четвертого моментов закона распределения параметров. Если используются четыре члена разложения ряда Тейлора, то необходимое число учитываемых моментов закона распределения параметров удваивается.

Можно показать, что если все моменты плана вычислительного эксперимента будут равны соответствующим моментам законов распределения параметров, то и моменты распределения показателей качества процессов, полученных в результате обработки плана вычислительного эксперимента, будут являться оценками истинных значений соответствующих моментов указанных показателей. При этом чем больше значений моментов учитывается в плане эксперимента, тем точнее получаются оценки показателей.

Отсюда возникает задача синтеза планов вычислительного эксперимента, у которых значения нескольких четных моментов плана равны соответствующим моментам законов распределения параметров. Для решения этой задачи целесообразно пользоваться непрерывными симметричными планами эксперимента.

Непрерывным планом вычислительного эксперимента называется совокупность величин вида:

$$\xi = \left\{ x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(N)} \right\}, \quad (4)$$

где $x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(N)}$ — точки спектра плана; ξ_N — величины, называемые относительными весами или частотами проведения наблюдений (эксперимента) в соответствующих точках плана.

Подмножества точек спектра плана, соответствующие характерным точкам правильных геометрических фигур, обычно называются симметричными конфигурациями. Планы вычислительного эксперимента состоят из симметричных конфигураций.

В этом случае для получения требуемых значений моментов можно менять как размеры отдельных конфигураций, так и частоты проведения эксперимента в этих конфигурациях.

Рассмотрим непрерывные симметричные композиционные планы вычислительного эксперимента второго порядка, включающие в себя две симметричные конфигурации. Нечетные моменты этих планов равны нулю, а выражения для четных моментов принимают следующий вид:

$$N_{11} a_1^2 \xi_1 + N_{21} a_2^2 \xi_2 = \lambda_2, \quad (5)$$

$$N_{12} a_1^4 \xi_1 + N_{22} a_2^4 \xi_2 = \lambda_{22}, \quad (6)$$

$$N_{11} a_1^4 \xi_1 + N_{21} a_2^4 \xi_2 = \lambda_4, \quad (7)$$

где N_{11}, N_{12} — число точек спектра 1-й конфигурации, в которой соответственно пары и тройки параметров принимают ненулевые значения; N_{21}, N_{22} — число точек спектра 2-й конфигурации, в которой соответственно пары и тройки параметров принимают ненулевые значения; a_1, a_2 — размер конфигурации; ξ_1, ξ_2 — частота проведения эксперимента в данной конфигурации; λ_2, λ_4 — собственные моменты плана второго и четвертого порядка, λ_{22} — смешанный момент плана четвертого порядка.

Решив систему уравнений (6), (7), получим следующие выражения для частот проведения эксперимента в отдельных конфигурациях:

$$\xi_1 = \frac{N_{21} \lambda_{22} - N_{22} \lambda_4}{a_1^4 (N_{12} N_{21} - N_{11} N_{22})}, \quad (8)$$

$$\xi_2 = \frac{N_{12}\lambda_4 - N_{11}\varphi^2}{a_2^4(N_{12}N_{21} - N_{11}N_{22})}. \quad (9)$$

Для синтеза плана необходима положительность частот, соответствующих точкам спектров первой и второй конфигураций.

Введем понятие приведенных моментов плана эксперимента. Приведенные моменты четвертого порядка будут определяться следующими выражениями:

$$\lambda_4^{(1)} = \frac{N_{11}(N_{21}\lambda_{22} - N_{22}\lambda_4)}{N_{12}N_{21} - N_{11}N_{22}}, \quad \lambda_4^{(2)} = \frac{N_{21}(N_{12}\lambda_4 - N_{11}\lambda_{22})}{N_{12}N_{21} - N_{11}N_{22}}. \quad (10)$$

Как видно из выражений (10), приведенные моменты зависят только от характеристик конфигураций, входящих в спектр плана эксперимента, и от значений четвертых моментов законов распределения исследуемых параметров.

Подставив выражения для приведенных моментов в (8) и (9), можно уравнение, связывающее размеры конфигураций с приведенными моментами четвертого порядка и моментом второго порядка, записать в каноническом виде:

$$\frac{\lambda_4^{(1)}}{a_1^2} + \frac{\lambda_4^{(2)}}{a_2^2} = \lambda_2. \quad (11)$$

Рассмотрим наиболее часто используемый центральный композиционный план, включающий в себя гиперкуб размером α_1 и один комплект звездных точек размером α_2 . Можно легко показать, что для этого плана вышеприведенные выражения и соотношения существенно упрощаются. Так, выражения для приведенных моментов и частот проведения эксперимента равны:

$$\begin{aligned} \lambda^{(1)} &= \lambda_{22}; \quad \lambda^{(2)} = \lambda_4 - \lambda_{22}, \\ \xi_1 &= \frac{\lambda_{22}}{2^{n-p}a_1^4}; \quad \xi_2 = \frac{\lambda_4 - \lambda_{22}}{2a_2^4}. \end{aligned} \quad (12)$$

Уравнение (11) принимает вид

$$\frac{\lambda_{22}}{2^{n-p}a_1^4} + \frac{\lambda_4 - \lambda_{22}}{2a_2^4} = \lambda_2. \quad (13)$$

Указанные планы вычислительного эксперимента были использованы для вероятностной оценки коэффициента искажения кривой напряжения электроэнергетической системы буровой установки со статическими выпрямителями. Сравнения значений математического ожидания, дисперсии и четвертого момента коэффициентов искажения, полученных на основе плана эксперимента и методом статистических испытаний, подтвердили достаточно высокую точность вероятностной оценки этого показателя.

Список литературы

1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. — М.: Кнорус, 2010. — 664 с.
2. Зубарев Ю. Я. Планирование вычислительного эксперимента в электроэнергетике / Ю. Я. Зубарев [и др.]. — СПб.: Энергоатомиздат, 2000. — 328 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ ДИАЛОГА С ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ
ОПЕРАТИВНОГО УЧЕТА СУДОПРОПУСКА В ШЛЮЗАХDIALOGUE ORGANIZATION WITH INFORMATION SYSTEM OF OPERATIONAL
REGISTRATION OF LOCKING

В статье рассматриваются вопросы организации диалога оператора терминала с информационной системой оперативного учета судопропуска в шлюзованной системе на некотором подмножестве естественного языка, содержащего вопросительные и побудительные предложения. На основе семантического анализатора предлагается транслятор с естественного языка на SQL-подобный язык запросов информационной системы.

This article is devoted to the questions of organization of dialog of terminal operator with the informative system of operative registration of the process of moving ships in the locked system in some subset of human language, containing interrogative and incentive suggestions. The translator from a human language to the SQL-similar language of queries of the informative system on the basis of semantic analyzer is offered.

Ключевые слова: семантика, семантический анализ, базы данных, шлюз, судопропуск.

Key words: semantics, semantic analysis, database, gateway, locking.



ШЛЮЗОВАННАЯ система на внутренних водных путях является частью единой транспортной системы и представляет собой территориально распределенную совокупность технологических объектов транспортного процесса. Управление системами подобного класса невозможно без создания единой корпоративной компьютерной сети, которая применительно к транспортным объектам, как правило, строится на основе виртуальных частных сетей, используя средства коммуникации предприятий, являющихся операторами связи.

Хосты корпоративной сети предназначены для сопровождения локальных баз данных первичной информации о совершенных операциях транспортного процесса и анализа технологических показателей исполненного процесса судопропуска. По мере необходимости получения интегрированных сведений по системе в целом должен производиться обмен информацией между центральной базой и ее периферийными филиалами (отдельными шлюзами либо районами гидросооружений). Для управления такими распределенными СУБД применяются различные технологии и специализированные средства доступа. Для реализации хранения, обработки и анализа данных в распределенных средах чаще всего используются различные ERP- и OLAP-системы, которые позволяют визуальными графическими средствами запрашивать данные из хранилища, агрегировать их и визуализировать результаты и т. д. Однако средств, которые предоставляли бы возможность исполнять запросы аналитика, сформулированные на естественном языке (ЕЯ), до сих пор реализовано не было. В полной мере такими средствами нельзя считать и специализированные языки ICQ (язык запросов платформы IC: Предприятие), SQL (Structured Query Language), MDX (Multidimensional Expressions) и другие, поскольку они для практического использования требуют достаточно высокой квалификации специалиста. В статье предлагается и иллюстрируется механизм, который позволил бы на подмножестве ЕЯ без специализированных знаний получать требуемую информацию из баз данных и OLAP-хранилищ [1].

Постановку задачи в общем виде можно сформулировать следующим образом: разработать формальный механизм преобразования запроса к данным на проблемно-ориентированном подмножестве ЕЯ в язык запросов к базе данных (БД) или хранилищу данных (ХД) и его реализацию.

Далее этот запрос должен быть выполнен информационной системой и возвращен результат или сообщение об ошибке с осмысленными пояснениями причин ее возникновения.

Рассмотрим особенности реализации механизма семантического анализатора на примере языка 1CQ. В основе выбора этого языка лежат нижеперечисленные причины.

1. Язык запросов 1CQ по синтаксису подобен языку SQL, поэтому не требует глубокой переквалификации программиста. Язык SQL является стандартом для ERP-систем и OLAP-хранилищ, потому что в прочих сферах часто используются ROLAP-системы или Rational OLAP, а многомерные БД пока не так сильно развиты.

2. Запросы на этом языке могут быть записаны как на русском, так и на английском языке, что имеет немаловажное значение для упрощения механизмов семантического анализа.

3. Язык 1CQ поддерживается динамично развивающейся в России платформой 1С: Предприятие 8, что обеспечивает широкую востребованность разрабатываемого механизма.

4. На языке платформы разрабатывается экспериментальная автоматизированная информационная система (АИС), предоставляющая дополнительные возможности по тестированию разрабатываемого механизма семантического анализа.

Представим алгоритм функционирования предлагаемого механизма семантического анализатора в виде блок-схемы, представленной на рис. 1.

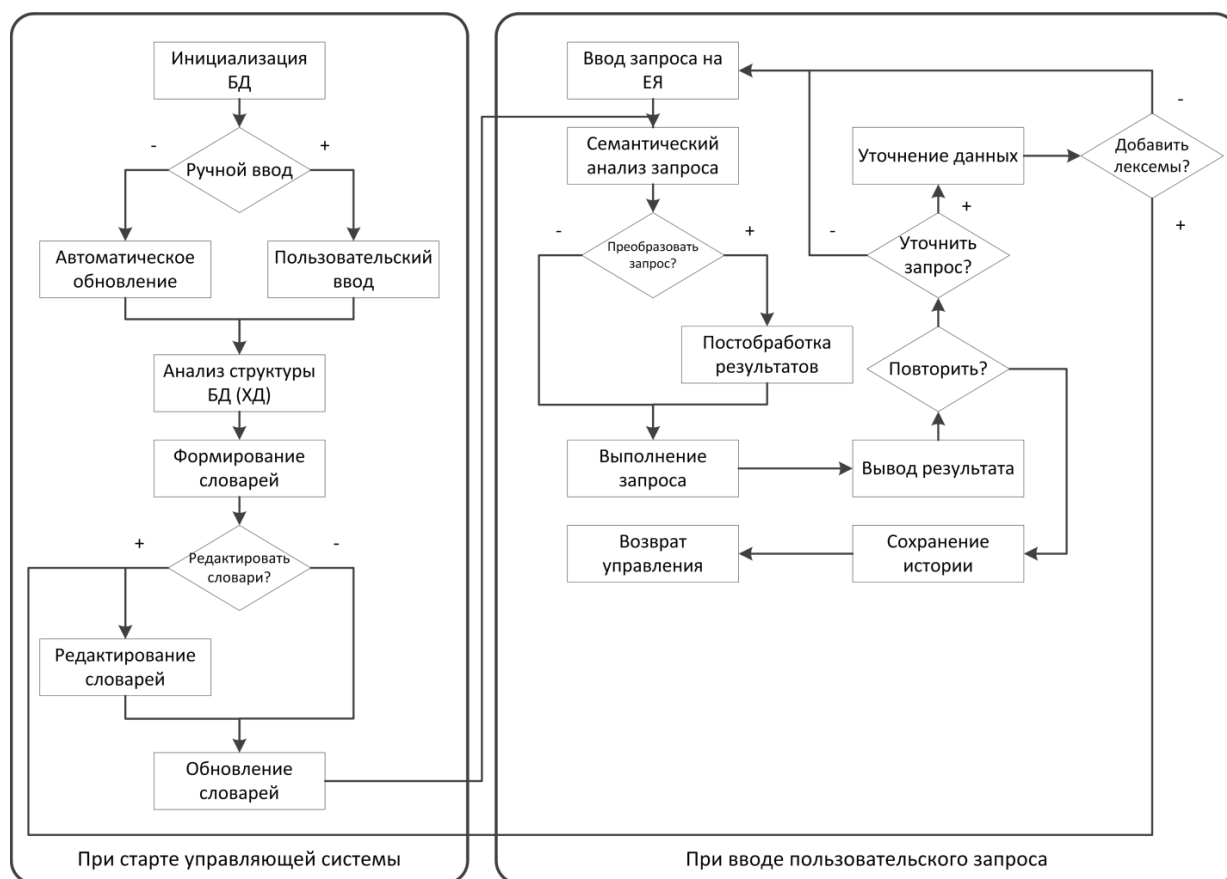


Рис. 1. Блок-схема механизма семантического анализатора

Прокомментируем работу алгоритма.

1. При инициализации система анализирует БД или ХД и на основе анализа описания данных, представленного либо при помощи XML-файла, либо встроенного механизма платформы АИС, строит структуру используемых объектов.

2. На основе построенной структуры объектов и их связей формируется проблемно-ориентированное подмножество ЕЯ.

3. Удаленный пользователь или оператор консоли (далее — оператор терминала (ОТ)) вводит запрос на ЕЯ на основе заполненных словарей.

4. Используя механизм семантического анализатора, выполняется анализ введенного ОТ запроса на ЕЯ и строится соответствующий ему запрос на языке 1СQ.

5. Если информационная система не поддерживает язык запросов 1СQ, то запрос конвертируется в стандарт языка SQL (переводится на английский язык, корректируется синтаксис и т. п.).

6. Имея в распоряжении код на языках запросов 1СQ или SQL — машинный запрос, платформа АИС выполняет его и выдает результат ОТ.

В соответствии с описанным алгоритмом работы механизма семантического анализатора рассмотрим следующий пример запроса на ЕЯ: *какой коэффициент слитых призм за июль 2011 г.?*

Информационная система для этого примера производит лексический (рис. 2), синтаксический (рис. 3), семантический анализ (рис. 4) и строит 1СQ-запрос вида:

ВЫБРАТЬ

СУММА(Шлюзование.Призма)/КОЛИЧЕСТВО(Шлюзование.Призма)

ИЗ

РегистрНакопления.Шлюзование КАК Шлюзование

ГДЕ

Шлюзование.Период МЕЖДУ &НачПериода И &КонПериода

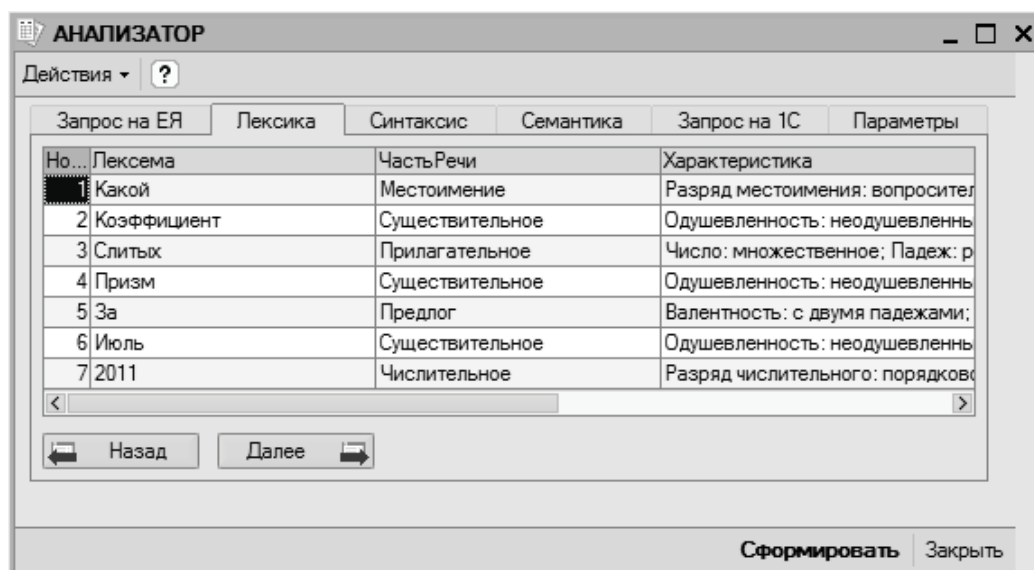


Рис. 2. Форма лексического анализатора

Вся совокупность запросов на ЕЯ ограничена двумя классами предложений: простые вопросительные предложения («Какой...?») и побудительные предложения («Показать...»). Таким образом, эти ограничения можно использовать для упрощения механизмов разбора предложения на каждом из этапов.

Синтаксический анализатор осуществляет контроль целостности и корректности введенного запроса на ЕЯ. Дерево, полученное в результате синтаксического анализа (в случае положительного заключения о правильности введенного запроса), используется как источник данных для следующего этапа анализа.

Семантический разбор предложения представляет собой механизм интеллектуального сопоставления результатов предыдущих этапов анализа, представленных в сформированных словарях со справочниками информационной системы. Таким образом, семантический анализатор представляет собой полноценную систему анализа текста, опирающуюся на оригинальную функциональную теорию языка [2].

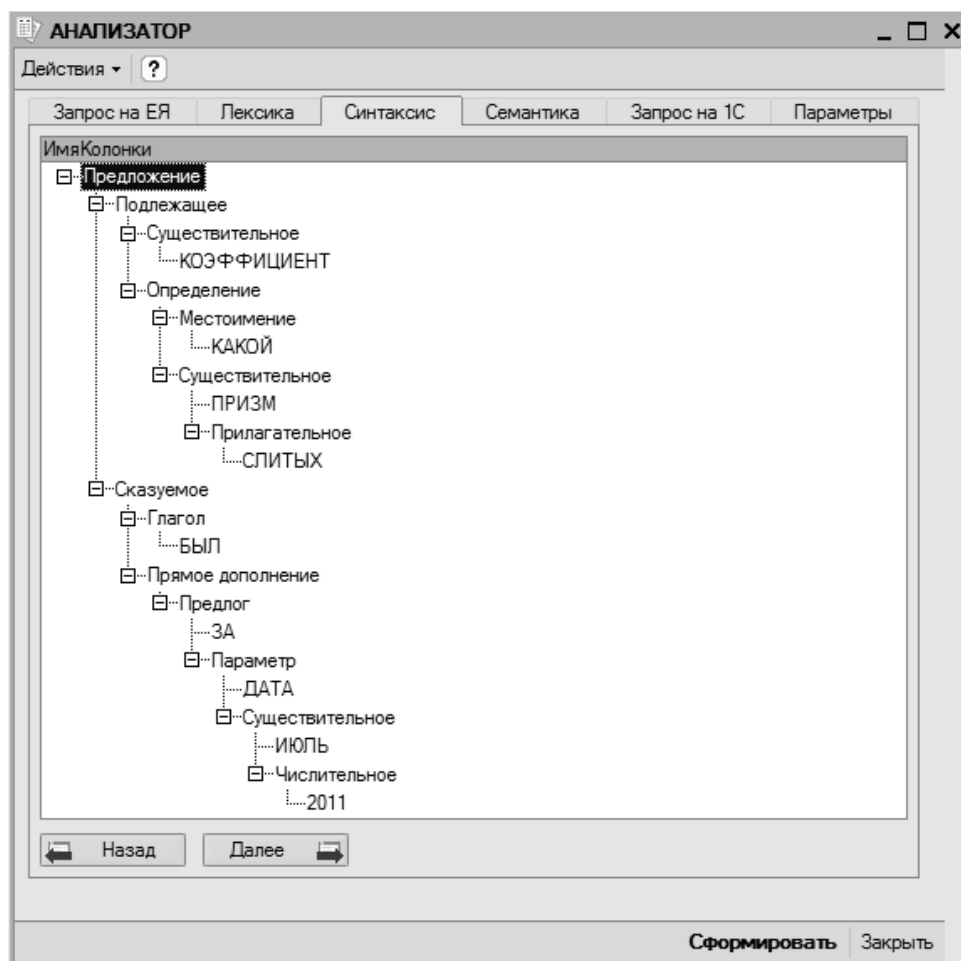


Рис. 3. Форма синтаксического анализатора

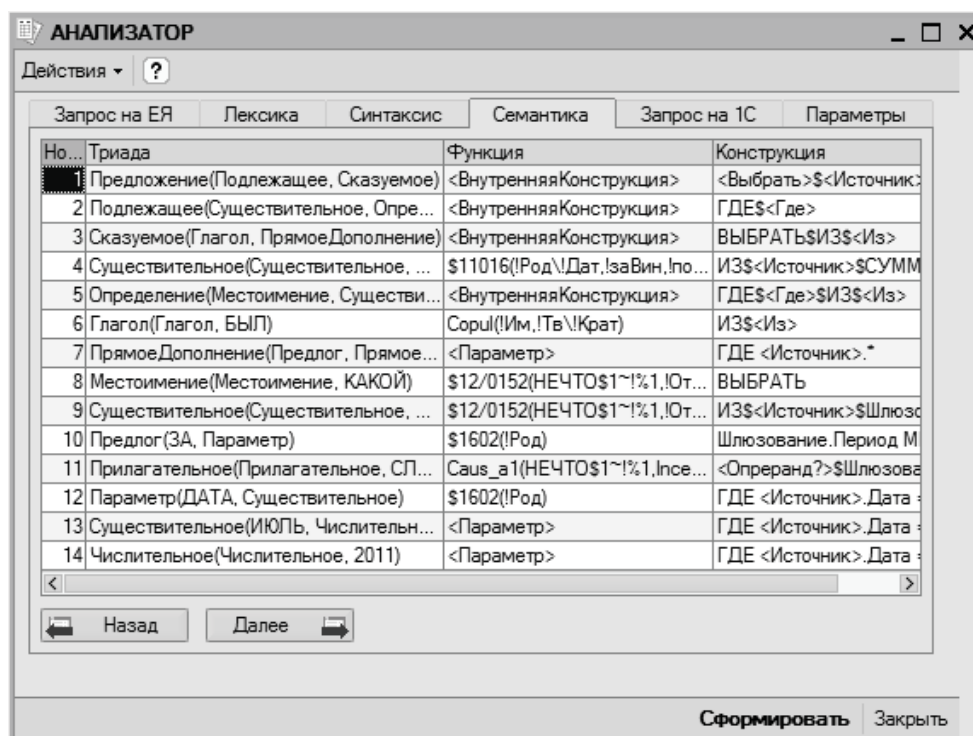


Рис. 4. Форма семантического анализатора

Рассмотренный пример иллюстрирует процесс преобразования запроса пользователя на ЕЯ в запрос на языке 1СQ. При этом надо последовательно выполнить этапы лексического, синтаксического, семантического анализа и генерации запроса на языке 1СQ.

Следует отметить, что предлагаемый подход к построению семантического анализатора использует идеи В. А. Тузова и, развивая их, предлагает адаптацию, в основе которой лежит использование семантического словаря, формируемого в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режимах и пополняемого по мере необходимости. Запрос на ЕЯ в итоге представляется в виде суперпозиции семантических функций исходя из того, что «адекватная грамматика приписывает каждому предложению структурное описание в виде суперпозиции функций» [2; 3].

В отличие от многих разработчиков семантических анализаторов [2], работы которых в области лингвистики ЕЯ, включая и русский язык, основаны на построении полных семантических словарей, в предлагаемом подходе достаточно построить ограниченный семантический словарь в силу того, что термины и объекты предметной области ограничены проблемно-ориентированным подмножеством ЕЯ. Эти термины и объекты предметной области загружаются из метаданных БД (ХД) или осознанно генерируются ОТ.

За синтаксическую и морфологическую обработку запросов на ЕЯ отвечают соответствующие модули лингвистического процессора, идеи функционирования которых частично позаимствованы у И. А. Волковой [5] и адаптированы для работы с объектами заданной предметной области.

Нетривиальной представляется задача семантического разбора запросов на ЕЯ с выборкой данных из таблиц со сложными связями (один ко многим, многие ко многим).

Рассмотрим еще один пример работы семантического анализатора. Пусть ОТ информационной системы обратился с запросом: *Показать среднее время задержки всех пассажирских судов за июль 2011 г.*

В соответствии с алгоритмом функционирования анализатора, при котором игнорируется лексема «всех», получаем синтаксическое дерево. Для выбранной предметной области часто корневой вершиной дерева будет являться семантическая единица, указывающая на то, что требуется что-либо выбрать (отобрать, отобразить, вывести, показать и т. п.).

Семантическая единица «выбрать» описана в семантическом словаре (рис. 5).

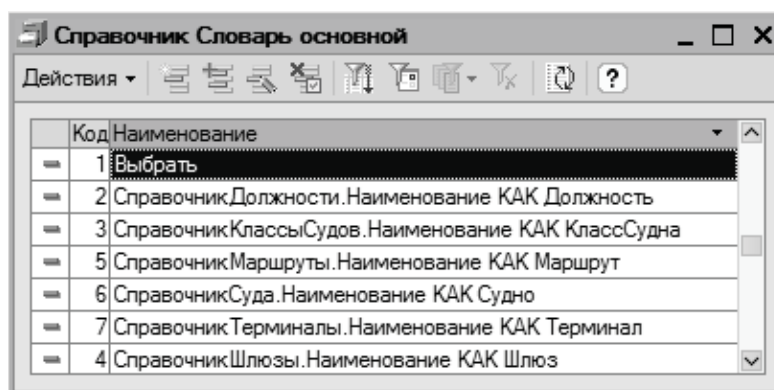


Рис. 5. Основной семантический словарь

В результате определяются действия для вершин потомков. В примере рассматриваемого запроса присутствует лексема «судов» (рис. 6), которой соответствует одна вершина построенного синтаксического дерева. Выделяем грамматическую основу этой лексемы — «судно».

Первый проход синтаксического анализатора осуществляет поиск указанной грамматической основы «судно» в названиях таблиц и их полей в БД. В результате поиска будет найдена таблица судов. Реляция «Судно» состоит из следующих полей: код, наименование и класс. У вершины «судов» есть дочерние вершины, которые характеризуют уточнение запроса, а именно фильтрацию запрашиваемых данных по типу судна и времени.

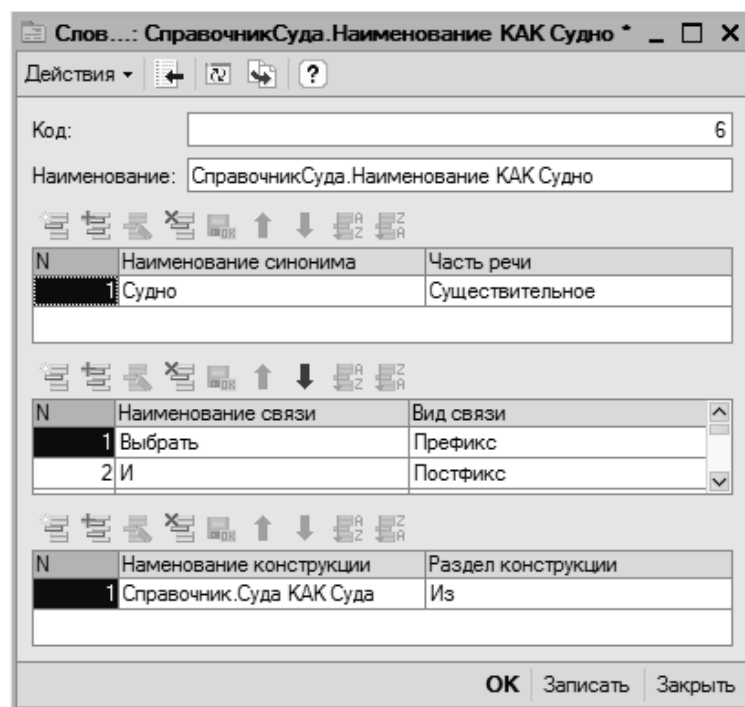


Рис. 6. Лексема «судно»

Для анализа запроса на ЕЯ и генерации текста запроса на языке 1CQ система составляет временный список объектов основного глагола действия запроса (лексема «показать»). В данном случае это лексемы: «судов» и «время». Далее перебираются все таблицы в поисках одновременного вхождения объектов «время» и «судно» и их синонимов. Каждый из внешних ключей в таблицах подвергается особой обработке анализатора. Последний раскрывает поиск сущности, пробегаая по описанию таблицы, на которую эти внешние ключи ссылаются. Например, в таблице регистра шлюзования нет судов как таковых, но так как это внешний ключ к таблице судов, то это обнаружит анализатор. Результатом этого явится выбор полей и записей, удовлетворяющих запросу. Более того, перебрав все таблицы, система установит, что этот вариант является единственно возможным, и не будет применять дополнительную семантическую обработку результата.

Лексема «задержки» в соответствии со своей семантикой и построенным синтаксическим деревом (рис. 7) определяется как разность между ожидаемым и достигнутым результатом. Эта разность вычисляется конструкцией запроса, сформированной следующим образом:

МИНУТА(ШлюзованиеСудовСрезПоследних.Период)-

МИНУТА(РасписаниеПассажирскихСудов.Время) КАК Задержка

Так как особых условий размерности величины задержки в запросе явным образом указано не было, анализатор определит ее в минутах при помощи встроенной функции «МИНУТА()», что является значением по умолчанию.

Затем анализатор объединяет лексемы «средние» и «время» на «среднее время», а также «время» и «задержки» на «время задержки» в связи с совпадением семантики подчинения данного набора лексем со словарной семантикой сущности. Завершающим этапом работы анализатора является добавление условия выборки «за июль 2011 г.». Здесь проблемы не возникает, поскольку система просто заменяет фразу следующей группой условий:

ГДЕ

Шлюзование.Период МЕЖДУ &НачПериода И & КонПериода

Символ «&» означает необходимость обработки параметрических, а не словарных данных. Универсальные параметры «НачПериода» и «КонПериода» устанавливаются анализатором в значения «01.07.2011 00:00:00» и «01.08.2011 00:00:00» соответственно.

Сложность для анализа представляет определение того, к чему, собственно, указанная дата относится. Так как в синтаксическом дереве дата относится к судам, а в реляции «Суда» поля даты нет, то система начинает просматривать связанные таблицы, имеющие ключевое поле типа «Дата». В результате, поднимаясь по иерархическому дереву подчиненности таблиц, связь с реляцией «Шлюзование», в которой есть дата. Именно с этой датой начинает работать система, так как дальнейший анализ больше никаких дат не выявил. Однако до конца проблема связи таблиц при построении запросов еще не решена.



Рис. 7. Схема синтаксического дерева

На заключительном этапе работы механизма синтаксический анализатор транслирует введенный запрос на ЕЯ в язык 1CQ:

ВЫБРАТЬ

ШлюзованиеСудовСрезПоследних.Судно КАК Судно,

МИНУТА(ШлюзованиеСудовСрезПоследних.Период)-

МИНУТА(РасписаниеПассажирскихСудов.Время) КАК Задержка

ИЗ

РегистрСведений.ШлюзованиеСудов.СрезПоследних КАК

ШлюзованиеСудовСрезПоследних,

РегистрСведений.РасписаниеПассажирскихСудов КАК РасписаниеПассажирскихСудов

ГДЕ

РасписаниеПассажирскихСудов.Судно = ШлюзованиеСудовСрезПоследних.Судно

И Шлюзование.Период МЕЖДУ &НачПериода И & КонПериода

Ввиду отсутствия дополнительных условий и альтернативных вариантов запроса сформированный текст запроса на языке 1Q является окончательным и отправляется на исполнение серверу управления базами данных.

Если целевая платформа механизма отлична от 1C: Предприятие 8, то существует возможность преобразования запроса на языке 1CQ в запрос SQL. В этом случае аналогом последнему запросу, то есть результатом его конвертирования, явится следующий запрос на языке SQL:

SELECT

TableLockage.Ship AS Ship,

MINUTE(TableLockage.Time) - MINUTE(TableScheulle.Time)AS Delay

FROM

TableLockage,

TableScheulle

WHERE

TableScheulle.Ship = TableLockage.Ship

AND TableLockage.Time BETWEEN &BTime AND &ETime

В заключение следует отметить, что в рамках поставленной задачи, предложены механизмы сематического анализа предложений на ЕЯ, результаты которого позволяют реализовать интеллектуальный доступ к реляционным данным, а реализованный интерфейс позволяет существенно сократить и упростить процесс формирования отчетов.

Список литературы

1. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных = An Introduction to Database Systems / К. Дж. Дейт. — 7-е изд. — М.: Вильямс, 2001.
2. Тузов В. А. Компьютерная семантика русского языка / В. А. Тузов. — СПб.: СПбГУ, 2003. — 392 с.
3. Хомский Н. А. Аспекты теории синтаксиса / Н. А. Хомский. — М., 1972. — 259 с.
4. Мельчук И. А. Опыт теории лингвистических моделей «смысл-текст» / И. А. Мельчук. — М.: Школа «Языки русской культуры», 1999. — 346 с.
5. Волкова И. А. Введение в компьютерную лингвистику. Практические аспекты создания лингвистических процессоров / И. А. Волкова. — М.: МГУ, 2006. — 43 с.

УДК 62.50

Г. Е. Барщевский,
аспирант,
СПГУВК

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СЛУЧАЙНОГО БАЛАНСА В ЗАДАЧАХ ОТСЕИВАЮЩЕГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ СУДОВЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

USE OF ACCIDENTAL BALANCE PROBLEMS IN SHIP SCREENING EXPERIMENTS FOR AUTOMATED SYSTEMS

В статье рассматривается использование метода случайного баланса для определения параметров, отклонение которых оказывает наиболее существенное влияние на значения показателей качества автоматической системы управления движения судов с динамическими принципами поддержания.

The article discusses the use of the method of random balance to determine the parameters, the deviation which has the most significant impact on the value of automatic quality control system traffic dynamically supported.

Ключевые слова: баланс, автоматизированная система, динамические принципы поддержания.
Key words: balance sheet, an automated system, the dynamic principles of maintenance.



При рассмотрении продольного или бокового движения судов с динамическими принципами поддержания (СДПП) число параметров, значения которых по тем или иным причинам могут отличаться от расчетных, как правило, бывает достаточно велико — порядка двадцати. Естественно, что отклонение от расчетных значений различных параметров не в

равной степени сказывается на изменении показателей качества, и нет необходимости учитывать разброс всех параметров. Возникает задача выделения существенных параметров объекта управления — судна, то есть параметров, отклонение которых наиболее существенно влияет на значение показателей качества автоматической системы управления движением (АСУД) СДПП.

В одних случаях решение подобной задачи вызвано необходимостью проведения исследований по выбору наиболее удачных в некотором смысле элементов архитектуры судна, которые непосредственно связаны со значениями параметров объекта управления. В других случаях необходимость учета разброса параметров объекта связана с отсутствием полной априорной информации о его параметрах, наличии больших ошибок при измерении отдельных параметров либо с изменением характеристик СДПП для различных режимов движения. Как известно, СДПП при изменении скорости значительно меняет посадку, что существенно сказывается на аэродинамических характеристиках судна. Произведем выбор существенных параметров объекта управления при исследовании бокового движения СДПП. Значения параметров зависят от углов дрейфа β и крена γ , а также угловых скоростей ω_x и ω_y . Для решения этой задачи воспользуемся методом случайного баланса.

Метод случайного баланса обладает большой разрешающей способностью, то есть он позволяет в задачах отсеивающего эксперимента выделить существенные факторы и произвести их ранжирование на фоне большого числа исследуемых факторов [2].

Динамика бокового движения СДПП описывается системой линеаризованных дифференциальных уравнений пятого порядка. Произведем оценку влияния 18 аэродинамических коэффициентов и конструктивных параметров, входящих в линеаризованные уравнения, на значения дисперсии угла рыскания при действии ветроволнового возмущения. Наименование этих коэффициентов и параметров и их обозначения приведены в табл. 2. Будем условно считать, что диапазон изменения отдельных параметров составляет $\pm 10\%$.

В основу расчета положена матрица планирования эксперимента табл. 1. Согласно этой матрице производился расчет дисперсии угла рыскания при соответствующих значениях параметров (нормированному значению $x_i = \pm 1$ соответствует $\tilde{x}_i = 1,1\tilde{x}_{i\text{ном}}$, а $x_i = -1$ — значение $\tilde{x}_i = 0,9\tilde{x}_{i\text{ном}}$, где $\tilde{x}_{i\text{ном}}$ — номинальное ненормированное значение i -го параметра). Результаты расчета сведены в табл. 3 (столбец D). Далее необходимо оценить значения вкладов для каждого параметра.

С этой целью необходимо составить для каждого параметра таблицы, состоящие из двух столбцов значений исследуемого показателя, соответствующих верхнему и нижнему уровням параметров. Так, для первого параметра (x_1), как видно из соответствующего столбца матрицы случайного баланса (см. табл. 1), верхнему уровню параметра соответствуют значения дисперсии угла рыскания, полученные в результате расчетов 3, 4, 5, 9, 10, 12, 13 и 15-й точках спектра плана, а нижнему уровню параметра — значения показателя во всех остальных точках. Указанные значения показателя во всех остальных точках. Указанные значения показателя для первого параметра сведены в табл. 4. В качестве центров распределения взяты средние арифметические, причем для верхнего уровня $\bar{D}_+ = 0,8227$, а для нижнего — $\bar{D}_- = 0,8026$. Аналогичным образом находим средние арифметические оценки для обоих уровней каждого фактора. Разность значений центров распределений для каждого параметра определяет вклад данного параметра. Значения вкладов E всех параметров приведены в табл. 5 (левый столбец). Из табл. 5 видно, что наибольший вклад вносят параметры x_{13} и x_{16} .

Строим вспомогательную таблицу (табл. 5), строки которой соответствуют матрице планирования типа 2^2 , где исследуемыми параметрами являются существенные параметры x_{13} и x_{16} . Пользуясь выражениями (1) и (2):

$$\bar{K}_s = \frac{1}{n_s} \sum_{t=1}^{n_s} K_{st}, \quad (1)$$

$$b_i = \frac{\sum_{s=1}^M x_{is} \bar{K}_s}{M}, \quad (2)$$

определяем средние значения показателя по строкам (табл. 5) и значения коэффициентов полино-

миальной модели $2b_{13}$ и $2b_{16}$, которые приведены в табл. 7. Далее на основе выражений (3) и (4):

$$K_l = \sum_{l=1}^{r'} b_l (x_{lp} + 1), \quad (3)$$

$$s^2(l) = \frac{1}{N-1} \sum_{u=1}^N (K_u^l - \bar{K}^l)^2 \quad (4)$$

определяем значения показателей с учетом выделенных факторов (столбцы 3 и 4 табл. 2), общую дисперсию и дисперсии этих столбцов $S(12)$ и $S(17)$, то есть дисперсии показателя после исключения параметров x_{13} и x_{16} . Значения выборочных дисперсий даны в табл. 8.

Таблица 1

№ точки плана	x_1	...	x_2	x_3	x_4	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}
1	-1	...	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	-1
2	-1		-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1
3	+1		-1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	-1
4	+1		+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1
5	+1		+1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	+1
6	-1		+1	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
7	-1		+1	-1	+1	+1	-1	+1	+1	+1
8	-1		+1	-1	-1	-1	+1	-1	+1	-1
9	+1		+1	-1	+1	-1	+1	+1	-1	-1
10	+1		-1	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1
11	-1		-1	-1	-1	+1	-1	-1	-1	+1
12	+1		-1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	+1
13	+1		-1	-1	-1	-1	-1	+1	-1	-1
14	-1		-1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	-1
15	+1		+1	-1	-1	+1	-1	-1	-1	+1
16	-1		-1	+1	+1	-1	+1	+1	-1	-1

Таблица 2

№ параметра	Принятое обозначение	Условное обозначение	Наименование параметра
1	2	3	4
1	C_2^B	x_1	Частные производные боковой силы
2	$C_2^{\omega x}$	x_2	
3	$C_2^{\omega y}$	x_3	
4	C_2^Y	x_4	
5	m_y^B	x_5	Частные производные момента гидродинамических сил
6	$m_y^{\omega x}$	x_6	
7	$m_y^{\omega y}$	x_7	
8	m_y^Y	x_8	
9	m_x^B	x_9	
10	$m_x^{\omega x}$	x_{10}	
11	$m_x^{\omega y}$	x_{11}	
12	m_x^Y	x_{12}	
13	S	x_{13}	Площадь крыла
14	J_{xy}	x_{14}	Момент инерции
15	ℓ	x_{15}	Размах крыльев
16	m	x_{16}	Масса судна
17	J_x	x_{17}	Моменты
18	J_y	x_{18}	инерции

Таблица 3

№ точки плана	D	$D(13)$	$D(16)$	$D(19)$	$D(15)$	$D(14, 15)$	$D(12, 15)$
1	1,0597	0,9478	0,9478	0,9478	0,9478	0,8958	0,8958
2	0,7119	0,7119	0,8019	0,8514	0,8514	0,7994	0,7994
3	0,8422	0,8422	0,8422	0,8422	0,8422	0,7902	0,8402
4	0,8721	0,7602	0,8502	0,8997	0,9384	0,8864	0,8864
5	0,7201	0,7201	0,8101	0,8101	0,8488	0,7968	0,8468
6	0,6993	0,5874	0,5874	0,6369	0,6756	0,7256	0,7256
7	0,6893	0,6893	0,7793	0,8288	0,8288	0,8288	0,8788
8	0,7943	0,7943	0,7943	0,8438	0,8825	0,8825	0,8825
9	0,7522	0,6403	0,7303	0,7798	0,8885	0,8185	0,8625
10	0,8468	0,7349	0,8249	0,8249	0,8249	0,8249	0,8249
11	0,8254	0,8254	0,8254	0,8254	0,8254	0,8254	0,8754
12	0,7682	0,7682	0,7682	0,8177	0,8564	0,8044	0,8544
13	0,8462	0,7343	0,8243	0,8243	0,8243	0,7723	0,7723
14	0,9388	0,8269	0,8269	0,8764	0,9151	0,8631	0,8631
15	0,9339	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,872
16	0,7027	0,7027	0,7927	0,7927	0,8314	0,8314	0,8314

Таблица 4

D_+	D_-
0,8422	1,0597
0,8721	0,7119
0,7201	0,6993
0,7201	0,6993
0,7522	0,6993
0,8468	0,7943
0,7682	0,8254
0,8462	0,9388
0,9339	0,7027
$\overline{D}_+ = 0,8227$	$\overline{D}_- = 0,8026$

Таблица 5

№	E	E'
1	+0,0201	+0,0145
2	+0,0048	-0,0231
3	-0,0231	+0,0109
4	-0,0117	+0,0265
5	+0,0320	-0,0625
6	-0,0810	-0,0475
7	-0,0418	-0,0137
8	0,0682	+0,0457
9	-0,0688	-0,0689
10	+0,0072	-0,0207
11	-0,0148	+0,0077
12	-0,0242	-0,0297
13	+0,1118	-0,0001
14	+0,0232	+0,0233
15	-0,0634	-0,0635
16	-0,0900	-0,0001
17	-0,0094	+0,0185
18	-0,0766	-0,0487

Таблица 6

13	16	Сочетание номеров	D_i	$\bar{D}_i$
+1	+1	4; 9 10; 13	0,8721; 0,7522 0,8468; 0,8462	0,8293
-1	+1	2; 5 7; 16	0,7119; 0,7201 0,6893; 0,7027	0,7060
+1	-1	1; 6 14; 15	1,0597; 0,6993 0,9388; 0,9339	0,9079
-1	-1	3; 8 11; 12	0,8422; 0,7943 0,8254; 0,7682	0,8075
* Здесь приводятся сочетания номеров точек плана из табл. 4				

Таблица 7

$2b_{13}$	$2b_{16}$	$2b_9$	$2b_{15}$	$2b_{14,15}$	$2b_{12,15}$
0,1119	-0,0918	-0,0495	-0,0378	0,052	-0,05

Таблица 8

s^2	s_{13}^2	s_{16}^2	s_9^2	s_{15}^2	s_2^2	s_{10}^2
0,0116	0,0075	0,0054	0,0042	0,0038	0,0028	0,0026

Таблица 9

x	$\frac{s^2 - s_i^2}{s^2} 100\%$	Относительный вклад, %
x_{13}	32	32
x_{16}	51	19
x_9	62	11
x_{15}	65	3
$x_{14} x_{15}$	75	10
$x_{12} x_{15}$	82	7

Далее можно с помощью выражения

$$\tilde{s}_i^2 = \frac{S^2(l) - S^2(l')}{S^2} \quad (5)$$

вычислить относительные вклады (эффекты) указанных параметров в величину выборочных дисперсий, которые даны в табл. 9. Эффект параметра x_{13} составляет 32 %, а эффект параметра x_{19} — 19 %.

На следующем этапе уже относительно $D^{(16)}$ производим расчеты вкладов E' (табл. 5) из которых следует, что теперь наиболее существенными параметрами являются x_9 и x_{15} . Из табл. 5 видно, что влияние параметров x_{13} и x_{16} полностью исключено, так как их средние арифметические,

соответствующие нижнему и верхнему уровням, практически совпадают. Далее строим вспомогательную таблицу, аналогичную табл. 6, и на основе выражений (1)–(4) определяем коэффициенты полиномиальной модели 2 в 9 и 2 в 15, дисперсии S^2 (9) и S^2 и эффекты параметров x_6 и x_{15} , которые, как и результаты первого этапа расчета, приведены в табл. 6, 7.

Суммарный вклад выделенных параметров составляет 65 %, то есть влияние остальных параметров сравнительно невелико.

Анализ влияния взаимодействий параметров показал, что наиболее существенными из них являются x_1x_{15} и $x_{12}x_{15}$. Значения коэффициентов полиномиальных моделей, дисперсий и эффектов взаимодействий также приведены в табл. 7–9.

Таким образом, параметры x_{13} , x_{16} , x_9 , x_{15} и взаимодействия $x_{14}x_{15}$ и $x_{12}x_{15}$ наиболее существенно влияют на значение дисперсии угла рыскания. Выражение для полиномиальной модели дисперсии угла рыскания при исследуемом ветроволновом возмущении согласно табл. 7 имеет вид

$$\Delta D = 0,5595x_{13} - 0,04509x_{16} - 0,02475x_9 - 0,001891x_{15} + \Delta 0,0260x_{14}x_{15} - 0,0250x_{12}x_{15}.$$

Суммарный вклад этих факторов составляет 82 %, на долю остальных факторов приходится 18 %, то есть их влиянием можно пренебречь.

При использовании метода следует помнить, что число точек спектра плана случайного баланса обычно меньше числа исследуемых параметров, то есть число степеней свободы f оказывается отрицательным. Поэтому метод случайного баланса не обеспечивает непосредственной корректной статистической проверки полученных результатов по методу наименьших квадратов.

Однако, несмотря на указанные недостатки, метод случайного баланса нашел широкое применение в самых разных областях, в первую очередь при исследовании различных технологических процессов [1], а опыт его использования показал целесообразность применения этого метода при исследовании судовых технических систем.

Следует отметить, что обработка результатов эксперимента на основе метода случайного баланса сравнительно просто реализуется на компьютерах, что позволяет существенно упростить процесс ранжирования параметров, влияющих на значения показателей качества процессов в судовых АС [3].

Список литературы

1. *Налимов В. В.* Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В. В. Налимов, И. А. Голикова. — М.: Наука, 1985. — 340 с.
2. Математическая теория планирования эксперимента. М.: Наука, 1983.
3. *Барщевский Е. Г.* Основы вычислительного эксперимента / Е. Г. Барщевский, Ю. Я. Зубарев. — СПб.: СПГУВК, 2009.

МЕТОДИКА АУДИТА ОБЪЕКТОВ ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ПО ТРЕБОВАНИЯМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИTHE TECHNIQUE OF AUDIT OF INFORMATION OBJECTS
FOR INFORMATION SECURITY REQUIREMENTS

Предлагается методика аудита объектов информатизации по требованиям информационной безопасности, основанная на комбинации методик, использующих в качестве параметров оценки защищенности количественные и качественные критерии.

The technique of audit of information objects for information security requirements, based on combination of techniques using quantitative and qualitative criteria as parameters of evaluation of security, is proposed.

Ключевые слова: информационная безопасность, аудит, соответствие требованиям, оценка рисков.

Key words: information security, audit, compliance, risk assessment.



ОД аудитом объекта информатизации по требованиям информационной безопасности понимают процесс получения оценок, отражающих текущее состояние защищенности исследуемого объекта.

Методы проведения аудита могут значительно отличаться. В качестве параметров оценки защищенности могут использоваться качественные или количественные критерии. При оценке качественных критериев проводится либо аудит соответствия объекта информатизации стандартам в области информационной безопасности (российским, зарубежным, международным), либо тестирование системы защиты объекта информатизации, нацеленное на выявление уязвимостей. При оценке количественных критериев используются методы анализа рисков (в том числе с использованием инструментальных средств) и методы оценки эффективности используемых систем защиты информации.

Методы аудита информационной безопасности, использующие в качестве параметров оценки защищенности количественные критерии, являются наиболее сложными, трудоемкими и требуют наивысшей квалификации аудитора. При помощи этих методов определяется набор требований к информационной безопасности конкретного объекта информатизации, учитывающий его индивидуальную специфику.

Методы, использующие в качестве параметров оценки качественные критерии, опираются на оценку соответствия обследуемого объекта информатизации требованиям, предъявляемым к широкому кругу информационных систем. Такие методы также требуют высокой квалификации аудитора и зачастую имеют большую трудоемкость, однако эти требования всегда ниже, чем при использовании методик аудитов, использующих в качестве параметров оценки количественные критерии.

Анализируя практикуемые сегодня методы аудита информационной безопасности объектов информатизации, можно сделать следующие выводы:

— при проведении аудитов, использующих в качестве параметров оценки защищенности качественные критерии, количественные критерии остаются неописанными;

— при проведении аудитов, оценивающих количественные параметры защищенности объекта информатизации, качественные критерии, как правило, не рассматриваются.

Следствием этого является:

— при проведении аудитов, использующих в качестве параметров оценки защищенности качественные критерии, индивидуальная специфика объекта информатизации зачастую остается неучтенной. Таким образом, даже положительные результаты аудита не всегда гарантируют, что объект информатизации защищен;

— результаты аудитов, использующих в качестве параметров оценки защищенности количественные критерии, напрямую зависят от опыта и квалификации аудитора. Поэтому зачастую сложно оценить их надежность.

Таким образом, оба упомянутых выше типа аудитов информационной безопасности имеют довольно существенные недостатки, следствием которых может быть неспособность сформировать корректное представление текущего состояния защищенности объекта информатизации.

Чтобы минимизировать эти недостатки, предлагается комбинировать количественные и качественные типы аудита информационной безопасности.

Ниже приведен пример проведения аудита информационной безопасности кредитной организации (далее — Банк), в основе которого лежит комбинация количественного и качественного типов.

Целью проведения аудита являлась оценка защищенности информации ограниченного доступа (платежной информации, персональных данных, коммерческой тайны), обрабатываемой в Банке. Для проведения аудита руководством Банка было принято решение привлечь сторонних специалистов (сотрудников организации-интегратора), квалификация которых подтверждалась бы опытом проведения успешных работ, прохождением профильного обучения и наличием сертификатов.

Сотрудниками организации-интегратора (далее — Интегратор) было принято решение провести аудит информационной безопасности в несколько этапов.

Этап 1. Выявление требований, предъявляемых Стандартом Банка России СТО БР ИББС.

Этап 2. Оценка рисков нарушения информационной безопасности информации ограниченного доступа, обрабатываемой в Банке. В рамках этого этапа предполагалось выявить недопустимые риски и сформировать требования, нейтрализующие эти риски.

Этап 3. В случае выявления расхождений между требованиями, выявленными в ходе первых двух этапов, проведение дополнительного анализа различающихся требований и формирование выводов об их необходимости.

Этап 4. Оценка выполнения требований.

В результате выполнения работ первого и второго этапов были сформированы перечни требований. В рамках настоящего примера приведены только выписки из этих перечней. Выписки из перечней требований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Перечень требований СТО БР ИББС и оценки рисков

№ п/п	Требование	СТО БР ИББС	Оценка рисков
1	Должен проводиться контроль деятельности работников Банка, обладающих совокупностью полномочий, позволяющей получить контроль над защищаемым информационным активом	+	+
2	Все работники Банка должны давать письменное обязательство о соблюдении конфиденциальности	+	+
3	Процедуры управления доступом должны исключать возможность «само-санкционирования»	+	+

Таблица 1
(Продолжение)

4	Должен проводиться периодический контроль доступа работников Банка в помещения, в которых размещаются объекты среды информационных активов	+	—
5	До сведения сотрудников Банка должны быть доведены процедуры, определяющие действия в случае компрометации (или подозрения на компрометацию) их личных атрибутов доступа	+	—
6	В системах ДБО должны быть реализованы механизмы информирования клиентов обо всех операциях, совершаемых от их имени	+	+
7	До всех клиентов систем ДБО Банка должны быть доведены сведения об известных возможных методах мошенничества и способах противодействия	—	+
8	Должны быть реализованы механизмы предупреждения клиентов систем ДБО о подозрении на мошеннические действия, совершаемые с их платежной информацией	—	+
9	Работа всех пользователей АБС должна осуществляться под уникальными учетными записями	+	+
10	На всех АРМ и серверах Банка должны применяться средства антивирусной защиты	+	+
11	Регулярное обновление средств антивирусной защиты должен осуществлять администратор АС и контролировать администратор ИБ	+	+
12	Цели использования сети Интернет должны быть явно перечислены	+	—
13	Клиенты систем ДБО должны быть обеспечены детальными инструкциями, описывающими процедуры выполнения операций или транзакций	+	—
14	Электронная почта должна архивироваться	+	—
15	Должны проводиться периодические проверки соответствия установленного ПО перечню установленного ПО	+	—
16	Платежная информация должна защищаться от искажения	+	+

Таким образом, на третьем этапе аудита было выявлено множество требований $C = \{4, 5, 12, 13, 14, 15\}$, предъявляемых СТО БР ИББС и не предъявляемых при оценке рисков, и множество требований $P = \{7, 8\}$, не предъявляемых СТО БР ИББС и предъявляемых при оценке рисков.

В связи с тем что требования $\{P\}$ были выявлены квалифицированными профессионалами с учетом индивидуальной специфики Банка, было принято решение считать эти требования необходимыми.

Необходимость требований $\{C\}$ специалисты Интегратора решили подвергнуть дополнительной проверке в связи с возможным наличием избыточности (наличие избыточности возможно из-за того, что требования стандарта рассчитаны на широкий круг объектов информатизации и не могут учитывать специфику Банка). Методом проверки был выбран метод оценки рисков нарушения требований. В результате проверки была выявлена необходимость требований $\{4, 5, 13, 15\}$ и отсутствие необходимости требований $\{12, 14\}$.

Таким образом, на четвертом этапе аудита оценке подлежали требования $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15\}$.

В результате аудита:

— была учтена индивидуальная специфика Банка;

— надежность результатов была обеспечена требованиями стандарта и квалификацией аудиторов (под надежностью здесь и далее подразумевается высокая вероятность того, что все необходимые требования были учтены и оценены корректно).

Приведенный выше пример демонстрирует методику проведения аудита объекта информатизации по требованиям информационной безопасности, основанную на комбинации методик, использующих в качестве параметров оценки защищенности количественные и качественные критерии.

В рамках этого примера:

— выявление требований стандарта СТО БР ИББС основано на качественных критериях (необходимо или нет);

— выявление требований в соответствии с оценкой рисков основано на количественных критериях (в основе оценки рисков лежат математические алгоритмы);

— выявление избыточности требований, предъявляемых стандартом и не предъявляемых при оценке рисков, основано на количественных критериях (в основе лежат математические алгоритмы);

— оценка выполнения выявленных требований основана на качественных критериях (выполнено или нет).

Сочетание методик, использующих в качестве параметров оценки защищенности как количественные, так и качественные критерии, позволяет увеличить вероятность отсутствия избыточности требований при высокой степени надежности результатов аудита.

В свою очередь надежность результатов аудита является основой для принятия верных решений для дальнейшего определения стратегии развития системы информационной безопасности объекта информатизации.

Список литературы

1. *Ерохин С. С.* Методика аудита информационной безопасности объектов электронной коммерции: дис. ... канд. техн. наук / С. С. Ерохин; Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники. — Томск, 2010.
2. *Фомин А. А.* Исследование и оптимизация алгоритмов аудита информационной безопасности организации / А. А. Фомин // Вопросы защиты информации. — М., 2009. — № 3. — С. 57–63.
3. *Астахов А. А.* Анализ защищенности автоматизированных систем / А. А. Астахов [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.globaltrust.ru>

СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

УДК 621.43

В. В. Гаврилов,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК;
Д. С. Семионичев,
канд. техн. наук,
СПГУВК

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЕМЛЕМОСТИ РИСКА ПРИ ФОРМАЛИЗОВАННОЙ ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

DETERMINATION OF THE RISK ACCEPTABILITY IN THE FORMAL SAFETY ASSESSMENT OF THE SHIPS POWER PLANTS

В статье рассмотрены история создания метода формализованной оценки безопасности, этапы реализации метода и подробно освещен вопрос о применении возможных критериев при определении приемлемости риска. В качестве абсолютного показателя потерь предлагается применять критерий «суммарных финансовых потерь за определенный промежуток времени», которые включают экономические и экологические потери при аварии судна, а также учитывают риск для человека и общества.

The history and the phases of the formal safety assessment method is considered in the article, the problem of application of possible criteria at the risk acceptability determination is studied. The criterion of "total financial losses for particular period" is proposed for application as common factor of losses. This criterion includes the value of economic losses, environment harm as well as personal and group risk for people.

Ключевые слова: формализованная оценка безопасности, риск, оценка, критерий, приемлемость, значение, отказ, математическая модель.

Key words: formal safety assessment, risk, determination, criterion, acceptability, value, failure, mathematical model.

В 1960–1990-е гг. в СССР за поддержание высокого уровня технического состояния морских судов отвечали в основном крупные пароходства, в состав которых входила инфраструктура, направленная на поддержание требуемого технического состояния судов.

В эти годы наметились две концепции обеспечения надежности оборудования. Первая из них регламентировала списание оборудования после выработки им назначенного изготовителем ресурса. Этот вариант отличается простотой и позволяет еще при проектировании планировать даты ремонта, потребность в запасных частях и в новом оборудовании. Несмотря на то что ресурс назначается, как правило, с некоторым запасом в безопасную сторону, практика показала, что такой подход не позволяет полностью исключить вероятность возникновения аварий в связи с преждевременным выходом из строя оборудования, поскольку срок службы является в общем случае случайной величиной. Кроме того, этот метод не всегда оправдан и экономически в связи с тем, что нередко механизм, выработавший календарный ресурс, остается в годном техническом состоянии.

Задача перехода к концепции «Эксплуатации с возможностью продления периода использования оборудования после выработки назначенного ресурса с учетом фактического состояния» и планированием необходимого резерва запасных частей решалась в 1980-е гг. отечественными изготовителями оборудования совместно со специалистами научных институтов.

При этом отмечалось, что в будущем целесообразно совершить переход к третьей концепции — «Управлению техническим состоянием оборудования целиком по фактическому состоя-

нию» с выполнением научно обоснованной оценки его надежности на заданный период предстоящей эксплуатации. Однако к началу 1990-х гг. такой переход не был осуществлен по ряду причин, одной из которых явилось отсутствие в мире подходящего инструмента, который позволил бы провести систематизированный анализ судна с целью оценки и прогноза изменения уровня его безопасности.

Для создания такого инструмента в 1996 г. в ИМО была создана специальная рабочая группа. В результате ее работы в 2001 г. было представлено «Руководство по формализованной оценке безопасности (ФОВ) для использования в процессе нормотворчества».

В общем случае ФОВ состоит из шести взаимосвязанных этапов.

1. Подготовительная работа.
2. Выявление опасностей.
3. Анализ риска.
4. Определение вариантов управления рисками.
5. Оценка затрат/выгоды.
6. Рекомендации по принятию решений.

Безопасность рассматриваемого объекта определяется при помощи оценки риска.

В методе ФОВ риск определяется по формуле

$$R = P \cdot C, \quad (1)$$

где P — частота (или вероятность) нежелательного события; C — тяжесть последствий нежелательного события (стоимость потерянного имущества, объем денежных средств, затраченных на преодоление последствий, которые возникли в результате нежелательного события; количество жертв, понесенных в результате одного нежелательного события и т. д.).

Таким образом, понятие «риск» состоит из двух частей: из вероятности возникновения вызванного опасностью события, причиняющего вред, и величины, которая характеризует последствия этого вредного события.

Решение о приемлемости риска принимается при условии, что полученный при анализе риск меньше некоторого заранее определенного допустимого его уровня:

$$R \leq R_{\text{доп}}, \quad (2)$$

где $R_{\text{доп}}$ — допустимый (приемлемый) риск нежелательного события.

Анализ зависимости (1) показывает, что при фиксированной величине $R_{\text{доп}}$ условие (2) может быть соблюдено при различных соотношениях между P и C . Поэтому если при анализе различных вариантов проектов одного судна или судовой энергетической установки (СЭУ) степень тяжести последствий нежелательного события задать постоянной, то можно перейти к нормированию риска по величине $P_{\text{доп}}$, определяемой из выражения

$$P_{\text{доп}} = R_{\text{доп}} / C, \quad (3)$$

где $C = \text{const}$.

В этом случае принятие решения о приемлемости риска возможно при выполнении условия

$$P \leq P_{\text{доп}}. \quad (4)$$

В связи с тем что однозначных критериев приемлемости риска в Руководстве ИМО по ФОВ на данный момент не определено, проведем систематизацию и обобщение применяемых методов при оценке приемлемости риска.

В общем случае считается, что приемлемым является решение, основанное на сочетании выгоды и риска при условии, что выгоды превосходят риск в достаточной степени [1, с. 40–46].

Риск для человека

Риск для человека — это риск, который испытывает индивид (член экипажа или пассажир), находящийся на борту судна, или третья сторона, на которые может оказать воздействие

нежелательное событие, происходящее с судном. Риск смертельного случая для индивида может быть представлен как годовой уровень смертельных случаев или как значение FAR (отношение количества смертельных случаев к 10^8 рабочих часов). Такие уровни могут быть установлены посредством сравнения с другими отраслями, с естественными опасностями, с хорошо изученными решениями, по которым накоплена обширная статистическая информация и т. д.

Степень приемлемости, соответствующая 10^{-3} на судно в год для членов экипажа, используется многими регулятивными органами как предел приемлемости. Для пассажиров в морской индустрии обычно используется более строгий критерий, поскольку пассажиры менее информированы о рисках, не получают «компенсации за риск», выраженной в заработной плате, а наоборот, тратят собственные средства и в меньшей степени контролируют ситуацию. В этом случае обычно считается допустимым уровень, соответствующий 10^{-5} – 10^{-6} [6].

Кроме гибели, риском для человека также является риск снижения числа лет жизни в добром здравии и риск получения телесных повреждений. В некоторых опытных приложениях телесные повреждения оцениваются по шкале их тяжести и переводятся в эквивалент смертельных случаев. Например, по установленной градации [2–4] 10 легких повреждений эквивалентны одному повреждению средней тяжести, 10 повреждений средней тяжести приравниваются к одному тяжелому повреждению, а 10 тяжелых повреждений считаются эквивалентом смертельного случая. В связи с этим параметром принятия решения является не смертность, а «эквивалент смертельного случая», учитывающий риск телесных повреждений индивида.

Риск для общества (групповой риск)

В практике анализа риск для общества (то есть риск, которому подвергаются все люди за определенное время) обычно оценивают с использованием характеристики случайной величины потерь, называемой f/N -кривой (диаграммой). Такую же f/N -диаграмму принято использовать и при выполнении ФОБ [3; 5].

Кривые f/N — это интегральные функции распределения N или более смертельных случаев в зависимости от частоты возникновения начальных событий f , представленные в логарифмической шкале. При этом наклоны большинства из используемых кривых f/N составляют -1 : $(\log(f) = -\log(N) + \text{const})$ (рис. 1).

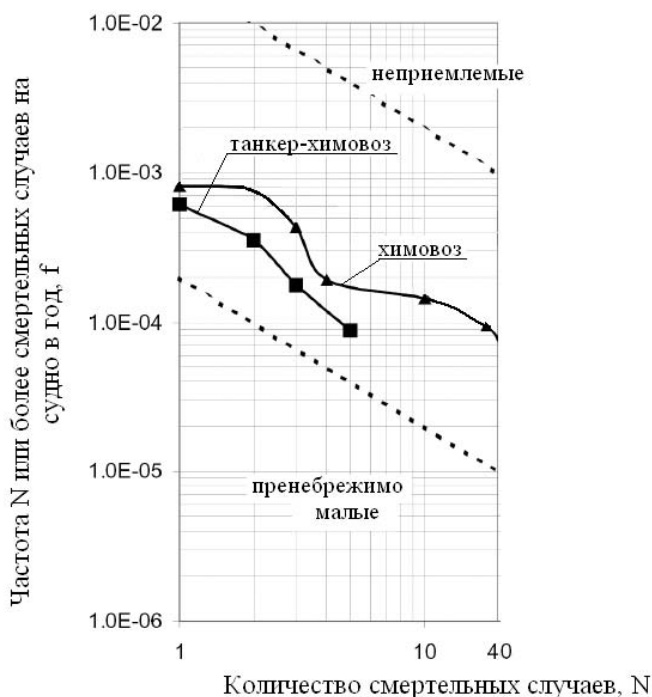


Рис. 1. Примеры распределения N или более смертельных случаев в зависимости от частоты возникновения начальных событий

Наклон, равный -1 , наиболее распространен среди используемых показателей неприятия риска. Однако некоторые регулятивные органы (например, в Швейцарии и Нидерландах) используют наклон, равный -2 , акцентируя внимание на крайнем неприятии риска больших аварий.

Экологические потери — этот вид потерь может быть оценен через возможную площадь загрязнения или количество загрязняющего вещества (химикаты, нефтепродукты и т. п.), попавшего в окружающую среду при аварии, а также ориентировочной стоимостью ликвидации последствий аварии.

Экономические показатели потерь за промежуток времени

В качестве абсолютных показателей потерь могут выступать также суммарные финансовые потери за определенный промежуток времени. По размеру этих потерь в некоторых случаях делают вывод о приемлемости или недопустимости риска.

В общем случае суммарные потери могут быть определены как сумма потерянных/поврежденных ценностей C_{Σ} :

$$C_{\Sigma} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5, \quad (5)$$

где C_1 — стоимость судна и его оборудования, а также мероприятий по спасению судна при аварии;

C_2 — стоимость перевозимого груза;

C_3 — стоимость ликвидации последствий возможного экологического загрязнения, возникшего в результате аварии;

C_4 — порча имущества третьих лиц (повреждения других судов, мостов, причалов и т. д.);

C_5 — потери человеческой жизни или повреждения здоровья (членов экипажа, пассажиров, третьих лиц).

При таком подходе величины C_1 , C_2 , C_3 могут определяться исходя из объема страховой компенсации при наступлении страхового случая или стоимости воспроизводства поврежденных материальных ценностей. Значения C_3 и C_2 могут быть приблизительно оценены исходя из статистической оценки прошлых аварий, а также в результате применения «информативного интуитивного суждения» [1] группы экспертов, созданной для выработки возможных сценариев загрязнения окружающей среды с последующей оценкой стоимости ликвидации последствий аварии.

Определение значения C_5 наиболее противоречиво. Многие исследователи придерживаются общепринятой оценки затрат и выгоды (ОЗВ), при которой критерий приемлемости состоит в том, что выгода «перевешивает» затраты. При этом значимость жизни оценивается с учетом значимости человека как субъекта экономической деятельности, способного создавать материальные ценности в течение дальнейшей жизни. При таком подходе стоимость жизни ребенка не стоит почти ничего из-за низких издержек при «замене». То же самое имеет место для лиц пожилого возраста ввиду невысокого потенциала создания материальных ценностей в течение остатка их жизни [1].

Однако такой подход во многом противоречит этическим нормам, существующим в обществе, так как в большинстве этических систем благополучие и жизнь человека являются приоритетной целью экономической деятельности государства. Экономическая активность, как правило, имеет своей целью поддержку человека, а целью жизни человека не является лишь поддержка экономической активности. Кроме того, в ОЗВ не учитываются потери от несозданных благ потенциального потомства погибшего человека, а также влияние на работоспособность угнетенного состояния близких и родственников погибшего человека, снижение производительности и качества их труда. В связи с этим для упрощения и приблизительной оценки C_5 можно пользоваться данными о средних выплатах страховыми компаниями при наступлении несчастного случая.

В национальных правилах, программных заявлениях, а также в политике в области охраны труда, окружающей среды и технике безопасности в зависимости от государства и политики крупных мировых корпораций можно найти как более высокие, так и менее высокие количественные оценки стоимости потери человеческой жизни. Они варьируются от 10^6 до $4 \cdot 10^7$ USD, составляя в среднем около $3 \cdot 10^6$ USD.

Используя предложенную зависимость (5), можно совершить переход к нормированию риска с определением максимально допустимой вероятности возникновения отказа элементов СЭУ при фиксированной величине допустимых суммарных потерь судовладельца в случае аварии.

Список литературы

1. Хан Дж. Дж. Ускоренный анализ надежности / Дж. Дж. Хан, Н. Доганаксой, У. К. Микер // Методы менеджмента качества. — 2009. — № 7.
2. Сикьюриус П. Формализованная оценка безопасности: Обзор: учеб. курс МАКО по ФОб / П. Сикьюриус, Р. Скьонг, Д. Дасгупта. — 2005.
3. Kontovas C. A. Formal Safety Assessment. Critical Review and Future Role / A. C. Kontovas // Diploma Thesis — National Technical University of Athens. — 2005.
4. Molland A. F. The Maritime Engineering Reference Book: A guide to ship design, construction and operation / A. F. Molland. — Burlington, UK: Elsevier, 2008.
5. Захаров А. А. Формализованная оценка безопасности — универсальный инструмент для снижения риска на транспорте / А. А. Захаров // Транспорт Российской Федерации. — 2006. — № 3.
6. Litai D. Методология сравнения рисков для оценки критериев приемлемости: докторская дис. / D. Litai; Массачусетский ин-т технологии. — Кембридж, Массачусетс, 1980.
7. Даниловский А. Г. Модели технико-экономического анализа судовых энергетических установок: учеб. пособие / А. Г. Даниловский, В. А. Бируля. — СПб.: Издат. центр СПбГМТУ, 2000.

УДК 621.391.6:656.621

В. М. Журавлев,
аспирант,
СПГУВК;

С. В. Рудых,
докторант,
СПГУВК

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОПТИМАЛЬНОГО РАДИУСА ЗОНЫ ДЕЙСТВИЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНКИНГОВОЙ СТАНЦИИ ОТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАДИОКАНАЛА В УСЛОВИЯХ ВЗАИМНЫХ ПОМЕХ

RESEARCH OF OPTIMAL RADIUS DEPENDENCE OF TRUNKED RADIO ON RADIOCHANNEL PARAMETERS WITHIN THE TERMS OF INTERBURST INTERFERENCE

Рассматривается задача оптимизации зоны действия цифровой транкинговой радиостанции в условиях взаимных помех при различных параметрах канала.

The task of optimization of the base station coverage of digital trunked radio is examined within the terms of interburst interference and different radio channel parameters.

Ключевые слова: внутренние водные пути, автоматические системы управления движением судов (АСУ ДС), транкинговые радиостанции, взаимные помехи, зона действия, мощность передатчика, вероятность ошибки.

Key words: inland waterways, automatic vessel traffic service, trunked radio stations, interburst interference, coverage, transmitter power, probability of error.

В ПОСЛЕДНЕЕ десятилетие при построении подсистем связи в «автоматизированных системах управления движением судов» (АСУ ДС) на внутренних водных путях (ВВП) серьезное внимание специалистов уделяется транкинговой радиосвязи, работающей в УКВ-диапазоне как средству повышения эффективности мониторинга и управления транспортным процессом.

Для обоснования и выбора топологической структуры транкинговых систем в регионе ВВП, прежде всего применительно к условиям ГБУ «Волго-Балта», «Волго-Дона», «Азово-Ростова», требуется решение задачи по определению радиуса действия каждой транкинговой зональной радиостанции в бассейне.

В данной работе рассматривается математическое обеспечение построения подсистемы транкинговой радиосвязи в АСУ ДС на основе цифрового стандарта TETRA для регионов «Волго-Балта», «Волго-Дона», «Азово-Ростова» с учетом основных параметров радиоканала, а также при воздействии взаимных помех.

Оптимизационная задача для транкинговой радиосвязи основывается, очевидно, на стохастической модели иного, чем для аналоговых сообщений, типа. Здесь в качестве анализируемого на экстремум соотношения выступает $P_{\text{ош.экв}}$ — зависимость от R эквивалентной вероятности ошибки в приеме кодовой комбинации. Тогда оптимальный радиус зоны транкинговой станции находится из решения:

$$R_{\text{сред}}^{\text{опт}} = \arg_R \min P_{\text{ош.экв}}(R), \quad (1)$$

где R — расстояние между корреспондентами.

В данной статье ограничимся частным, но весьма распространенным на практике случаем, когда дополнительное кодирование отсутствует и в качестве $P_{\text{ош.экв}}$ выступает $P_{\text{ош}}$ — различные модификации выражений для полной вероятности ошибки поэлементного приема дискретных, цифровых сообщений. Поскольку обычно $P_{\text{ош}}(P)$ имеет монотонный характер, то задача (1) сводится к отысканию такого граничного значения радиуса зоны действия транкинговой береговой станции, когда имеет место:

$$R_{\text{сред}}^{\text{опт}} = \arg [P_{\text{ош}}(R) \leq P_{\text{треб}}], \quad (2)$$

где $P_{\text{треб}} = 10^{-4}$ — требуемая вероятность ошибки.

Рассмотрим конкретные, имеющие самостоятельное значение примеры решения (2). При этом основное внимание следует уделить получившей наибольшее распространение в УКВ-радиосетях частотной модуляции, использующей ортогональные в усиленном смысле простые сигналы двух частот.

Известно, что при некогерентном приеме ЧМ сигналов выражения для полной вероятности ошибки поэлементного приема имеют вид

$$P_{\text{ош}}(R) = \frac{1}{2} e^{-\frac{h^2(R)}{2}} = \frac{1}{2} e^{-\frac{\kappa}{R^4}}, \quad (3)$$

где

$$\kappa = \frac{P_u G_1 \eta_1 G_2 \eta_2 (h_1^2 + h_0^2)(h_2^2 + h_0^2)}{2 P_{\text{пр min}}} \quad (4)$$

— параметр канала радиосвязи, определяющий его потенциальные возможности без учета случайного расстояния между корреспондентами, $P_{\text{пр min}} = 10^{-11}$ (Вт) — чувствительность (минимально

допустимая мощность сигнала приемника при входе). Для (3) возможны два способа решения в (2) — графоаналитический и аналитический. При графоаналитическом решении по выражению для вероятности ошибки строится соответствующая кривая $P_{\text{ош}}(R)$, а затем на требуемом уровне $P_{\text{треб}}$ проводится горизонталь, точка пересечения которой с кривой и определяет величину $R_{\text{опт}}^{\text{сред}}$.

Для иллюстрации этого на рис. 1 по (3) построены зависимости вероятности ошибки $P_{\text{ош}}$ от R [км], для $h_2 = 20$ м.

При аналитическом решении (2) совместно с (3) имеем

$$R_{\text{сред(км)}}^{\text{опт}} = \sqrt[4]{\frac{\kappa}{\ln 2 \cdot P_{\text{треб}}}}. \quad (5)$$

Это соотношение при $P_{\text{треб}} = 10^{-4}$ приводит к аналогичным для $R_{\text{сред}}^{\text{опт}}$ численным решениям (3).

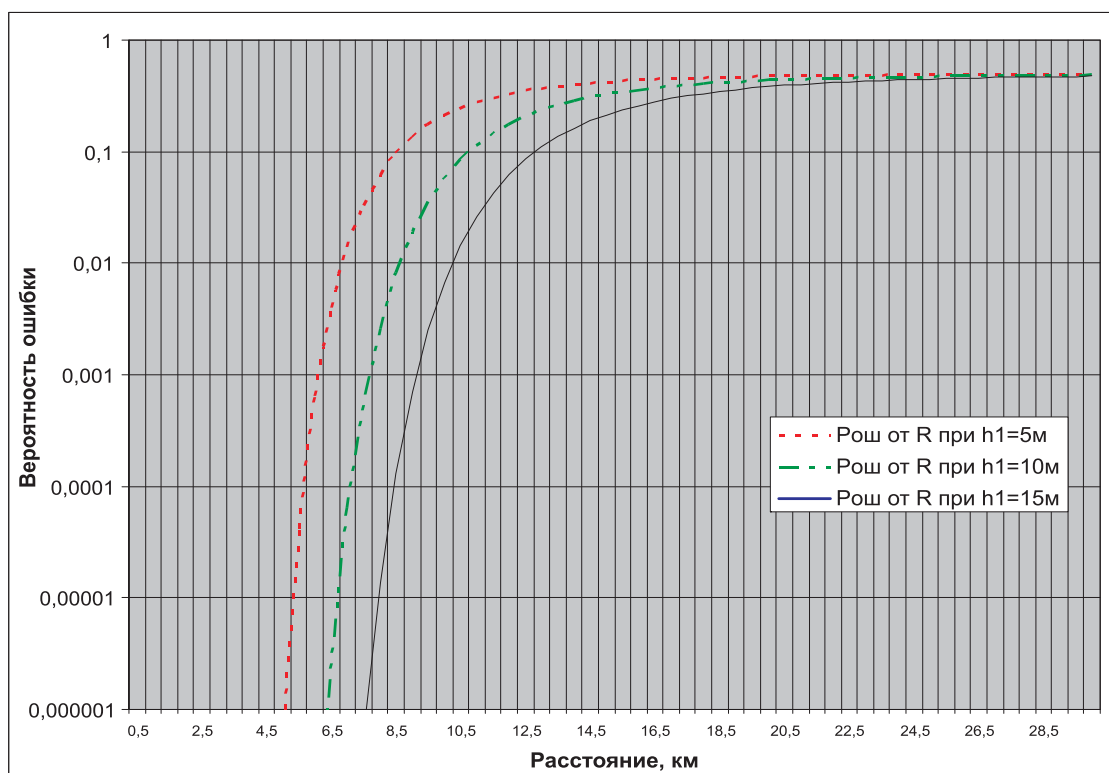


Рис. 1. Зависимость $P_{\text{ош}}$ от R при $h_1 = 5$ м; 10 м; 15 м при $h_2 = 20$ м

При оптимизации параметров зон береговых транкинговых станций принципиально важно рассмотреть случай, когда перемещение корреспондентов (судовых транспондеров) относительно базовой станции носит случайный характер. При исследовании этой ситуации рассмотрим два поддиапазона УКВ: УКВ морской подвижной службы (МПС) и речной УКВ.

Для УКВ МПС выберем частоту 150 МГц, $\lambda = 2$ м.

Для речного УКВ — 50-й канал, выберем частоту $\lambda = 0,998$ м.

Для анализа выберем наиболее распространенный случай максвелловского закона плотности вероятности распределения расстояния R между корреспондентами (судовыми транспондерами) и базовыми транкинговыми станциями. Тогда для ситуации «ровной поверхности» и отсутствия взаимных помех вероятности ошибок при передаче элементов цифрового сигнала в направлении «судно–берег» определяются выражением

$$P_{\text{ош}} = \int_{R \in Q(R)} P_{\text{ош}}(R) W(R) dR, \quad (6)$$

где $W(R)$ определено соотношением

$$W(R) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{R^2}{\sigma^3} \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right), \quad \sigma^2 = \frac{\pi}{8} R_{\text{ср}}^2, \quad (7)$$

$$P_{\text{ош}}(R) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{\kappa}{R^4}\right) \quad (8)$$

— вероятность ошибки поэлементного приема при наличии только флуктуационных шумов в канале связи; $Q(R)$ — область определения R ;

$$\kappa = \frac{P_{U1} \cdot G_1 \eta_1 \cdot G_2 \eta_2 \cdot (h_1^2 + h_0^2)(h_2^2 + h_0^2) \cdot \lambda^2}{2 P_{\text{пр. мин}}} \quad (9)$$

— энергетический параметр радиолинии. Здесь h_1 и h_2 — высоты подъема судовой и береговой антенн соответственно, h_0 — минимальная эффективная высота антенны, учитывающая параметр почвы ($h_0 = 5$ м для средних условий).

Подставляя (7) и (8) в (6) и интегрируя, получим

$$P_{\text{ош}} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{1}{4\sigma^3} \cdot \int_0^\infty y^{\frac{1}{2}} \cdot \exp\left(-\frac{x}{y^2} - \frac{y}{2\sigma^2}\right) dy \quad (10)$$

или

$$P_{\text{ош}} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{\kappa^{\frac{3}{4}}}{R^3} \cdot \int_0^\infty y^{\frac{1}{2}} \cdot \exp\left[-\left(\frac{1}{y^2} - \frac{y}{2\sigma^2}\right)\right] dy. \quad (11)$$

Для численного интегрирования в (11) в качестве примера были приняты следующие значения параметров радиолинии:

$$G_1 = G_2 = 1, \quad \eta_1 = \eta_2 = 0,9, \quad h_1 = 10 \text{ м}, \quad h_2 = 40 \text{ м}, \quad P_{U1} = 10 \text{ Вт}, \quad \lambda_1 = 2 \text{ м}, \quad \lambda_2 = 0,998 \text{ м}$$

при $P_{\text{пр. мин}} = 2 \cdot 10^{-10.7}$. Кривая 1 — для «морского» диапазона $\lambda_1 = 2$ м, кривая 2 — для «речного» диапазона $\lambda_2 = 0,998$ м. Результаты расчетов по (11) представлены на рис. 2.

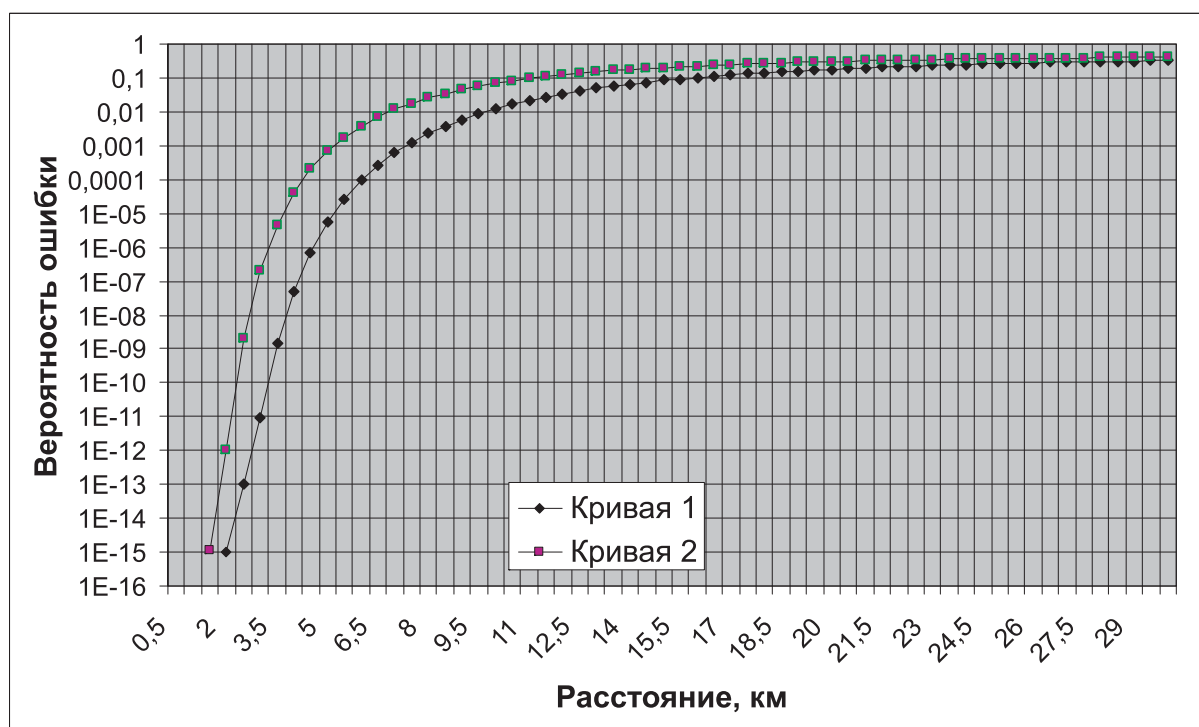


Рис. 2. Зависимость $P_{\text{ош}}$ от R при случайном перемещении корреспондентов (судовых транспондеров) для «морского» и «речного» диапазона

Найденные решения задачи оптимизации (2), особенно в аналитической форме (5), позволяют установить четкую зависимость $R_{\text{сред}}^{\text{опт}}$ при передаче цифровых сообщений от таких важнейших параметров радиоканала, как высота антенн, мощность передатчика и других, в каналах с замираниями и без замираний.

Рассмотрим соотношение (5), определяющее потенциально возможное значение $R_{\text{сред}}^{\text{опт}}$. Из этого выражения следует

$$R_{\text{сред}}^{\text{опт}} = \alpha \cdot \kappa^{\frac{1}{4}}, \quad (12)$$

где

$$\alpha = \left| \ln 2 \cdot P_{\text{треб}} \right|^{\frac{1}{4}}. \quad (13)$$

Как видно из (12) зависимость $R_{\text{сред}}^{\text{опт}}$ от энергетического потенциала κ есть типичная степенная функция с показателем $\kappa = \frac{1}{4} < 1$, поэтому касающаяся в начале координат оси Y кривая не имеет асимптот. По сравнению с кривой $Y = X^k$ зависимость (12) вытянута в направлении оси Y в $|\alpha|$ раз.

При выполнении условия

$$h_1 = h_2 = h \quad (14)$$

из (12) следует, что зависимость $R_{\text{сред}}^{\text{опт}}$ от высот приемной и передающей антенн имеет вид

$$R_{\text{сред}}^{\text{опт}} = a \cdot \alpha_1 (h^2 + h_0^2)^{\frac{1}{2}}, \quad (15)$$

где

$$\alpha_1 = \left(\frac{P_U}{2P_{\text{ш}}} \cdot G_1 \eta_1 \cdot G_2 \eta_2 \cdot \lambda^2 \right)^{\frac{1}{4}}, \quad h_0 > 0. \quad (16)$$

Эта зависимость показана кривой на рис. 3. Для этого случая принимаем

$$G_1 = G_2 = 1, \quad \eta_1 = \eta_2 = 0,9, \quad \frac{P_U}{P_{\text{ш}}} = 2, \quad h_0 = 5 \text{ м}, \quad \lambda = 2 \text{ м}. \quad (17)$$

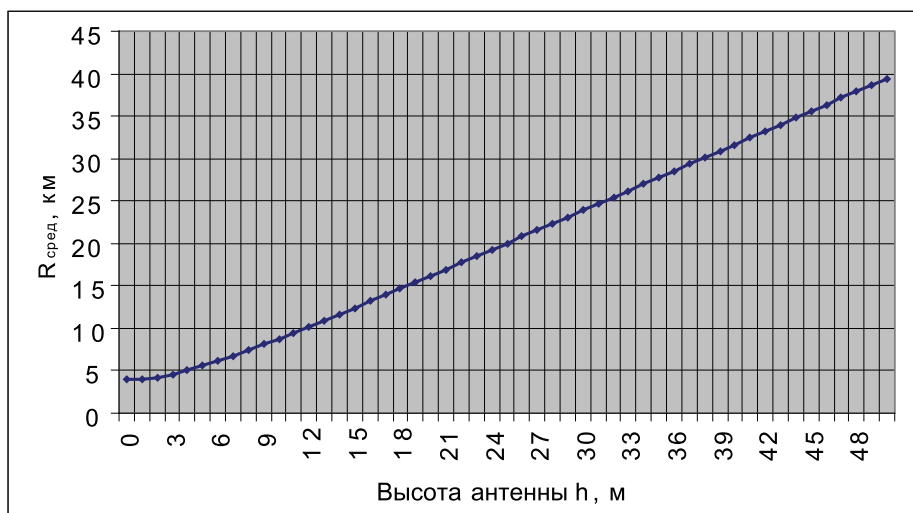


Рис. 3. Зависимость $R_{\text{сред}}^{\text{опт}}$ от $h_1 = h_2 = h$

При $h > h_0$ кривая близка к линейной.

Зависимость $R_{\text{сред}}^{\text{опт}}$ от P_U — мощности передающего устройства или, что то же самое, от $\gamma = \frac{P_U}{P_{\text{ш}}}$ при $\frac{P_{U0}}{P_{\text{ш}}} = \text{const}$ согласно (12) такова:

$$R_{\text{сред}}^{\text{опт}} = \alpha \cdot \alpha_2 \cdot \gamma^{\frac{1}{4}}, \quad (18)$$

где

$$\alpha_2 = \left[G_1 \eta_1 \cdot G_2 \eta_2 \cdot (h_1^2 + h_0^2) \cdot (h_2^2 + h_0^2) \cdot \frac{\lambda^2}{2} \right]^{\frac{1}{4}}. \quad (19)$$

Эта зависимость показана на рис. 4 для условий $h_1 = h_2 = 10$ м, $G_1 = G_2 = 1$, $\eta_1 = \eta_2 = 0,9$, $\frac{P_U}{P_{\text{ш}}} = 2$, $h_0 = 5$ м, $\lambda = 2$ м.

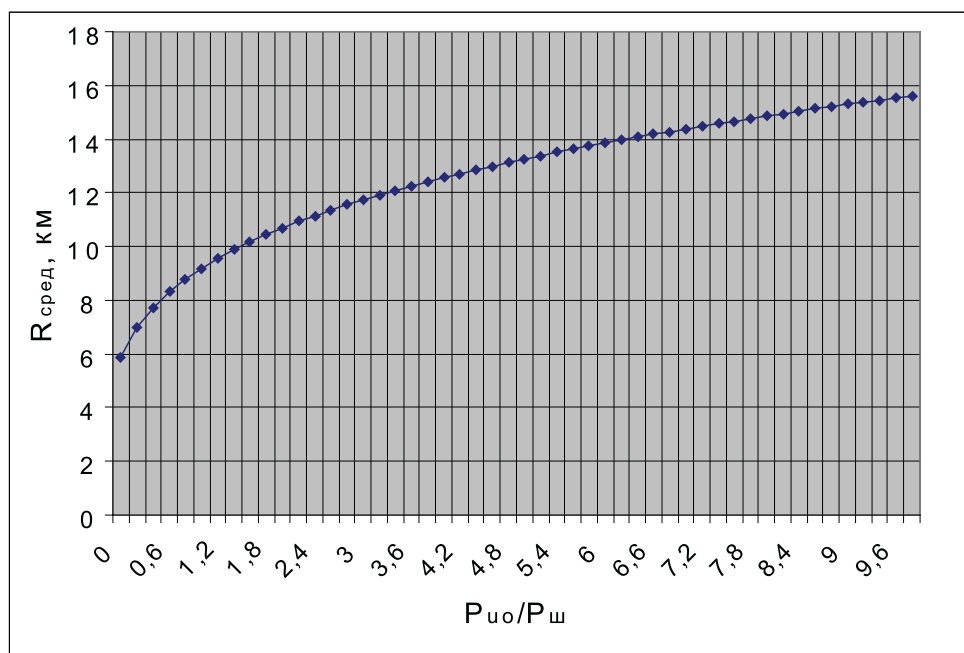


Рис. 4. Зависимость $R_{\text{сред}}$ от P_U

В каналах с взаимными помехами радиосредств оптимальный радиус определяется соотношением (12), но значение радиуса зоны оказывается уменьшенным в

$$\alpha_n = \sqrt[4]{2 + \frac{\kappa_n \cdot g_{or}^2}{R_n^2}} \quad (20)$$

раз по сравнению с потенциально достижимым и существенно зависящим:

- от κ_n — показателя энергетической эффективности взаимной помехи в точке приема;
- g_{or}^2 — коэффициента взаимного различия сигнала и взаимной помехи;
- R_{Π} — расстояния между радиостанцией и источником помехи.

Так, например, при $g_{or}^2 = 0,4053$, что соответствует случаю моногармонической одномерной помехи, $\kappa_{n1} = 1,2656 \cdot 10^4$, $\kappa_{n2} = 0,6328 \cdot 10^2$, $R_{\Pi} = 2$ км, 4 км, 6 км, 8 км, 10 км, уменьшение радиуса зоны составит величину, представленную в табл. 1.

Таблица 1

Значение оптимального радиуса зоны действия транкинговой радиостанции

$R_{\Pi} [\text{км}]$	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
α_n при κ_{n1}	5,99	4,24	3,47	3,01	2,70	2,48	2,30	2,17	2,05	1,96
α_n при κ_{n2}	1,70	1,38	1,28	1,24	1,23	1,21	1,20	1,20	1,20	1,20

Наличие в канале рэлеевских замираний дополнительно уменьшает оптимальный радиус в

$$\delta = \left[\frac{1}{\frac{2P_{\text{треб}}}{|\ln 2P_{\text{треб}}|} - 1} \right]^{\frac{1}{4}} = \left[\frac{1 - 2P_{\text{треб}}}{2P_{\text{треб}} \cdot |\ln 2P_{\text{треб}}|} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (21)$$

число раз.

Численные значения (21) для различных величин $P_{\text{треб}}$ представлены в табл. 2.

Таблица 2

Численные значения коэффициента δ

$P_{\text{треб}}$	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
δ	1,26	1,88	2,99	4,92	8,24	13,97

Проведенный анализ зависимости $R_{\text{сред}}^{\text{опт}}$ при передаче цифровых сообщений транкинговой радиосвязи достаточно полно описывает тенденции и количественный характер поведения оптимального радиуса зоны действий береговой транкинговой станции при изменении важнейших параметров радиоканала, а также при воздействии взаимных помех.

Список литературы

1. Доровских А. В. Сети связи с подвижными объектами / А. В. Доровских, А. А. Сикарев. — Киев: Техника, 1989. — 158 с.
2. Библиотека математических таблиц / под ред. А. С. Барк / ВЦ АН СССР. — М., 1970. — Т. II: Таблицы вероятности функций.
3. Зайцев А. И. Топология построения подсистем УКВ-радиосвязи для АСУ ДМФ Финского залива / А. И. Зайцев, А. А. Сикарев // Связь на море и реке—2008: материалы V Междунар. форума. — М.: Морсвязьспутник, 2008.
4. Овчинников А. М. Открытые стандарты цифровой транкинговой радиосвязи / А. М. Овчинников, С. В. Воробьев, С. И. Сергеев. — М.: МЦНТИ, 2000. — 27 с.

УДК 621.396.03. 656.62.007

В. Ф. Зуев,
доцент,
СПГУВК;

О. В. Соляков,
канд. техн. наук,
СПГУВК

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ СУДОВ НА СЛОЖНЫХ УЧАСТКАХ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ

THE MAIN ASPECTS OF IMPROVING THE ACCURACY OF VESSEL'S POSITIONING IN DIFFICULT AREAS OF INLAND WATERWAYS

В настоящей статье определяется круг задач, которые оказывают существенное влияние на точность местоопределения судна и требуют своего решения при повышении точности позиционирования

судов при прохождении сложных участков внутренних водных путей (ВВП) для повышения обеспеченной безопасности судоходства.

The article defines the range of tasks that have a significant impact on the accuracy of the vessel's positioning and require their solution for improving the accuracy of vessel's positioning during passing the difficult areas of inland waterways to increase the required safety of navigation.

Ключевые слова: внутренние водные пути.

Key words: inland waterways.



ЛЯ обеспечения точного местопределения в автоматизированных системах управления движения судов (АСУДС) на ВВП Минтранс РФ приказом № 280 от 16 декабря 2010 г. «О реализации постановления Правительства Российской Федерации от 12 августа 2010 г. № 623 “Об утверждении технического регламента о безопасности объектов внутреннего водного транспорта”» определил, что в состав средств навигационного оборудования судов внутреннего водного транспорта: пассажирских, перевозящих опасные грузы, независимо от вместимости, самоходных транспортных судов классов «М» и «О» валовой вместимостью 300 и более тонн должна быть включена следующая аппаратура:

— приемоиндикаторы Глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) ГЛОНАСС или ГЛОНАСС GPS с возможностью приема дифференциальных поправок;

— судовой транспондер автоматической информационной системы (АИС), до даты первого классификационного освидетельствования органом классификации после 1 июля 2012 г., но не позднее 31 декабря 2013 г.

Существующие системы контрольно-корректирующих станций (ККС), обеспечивающие высокоточное радионавигационное поле на ВВП, в процессе совершенствования технологий технических систем нуждаются в модернизации для достижения высоких вероятных и точных характеристик позиционирования судов.

Одобрена распоряжением Правительства Российской Федерации от 3 июля 2003 г. № 909-р Концепция «О развитии внутреннего водного транспорта Российской Федерации до 2015 года» предусматривает в Разделе II «Основные цели, задачи и принципы развития внутреннего водного транспорта» п. 1 «развитие связи и навигации посредством модернизации существующих и внедрения новых средств связи, спутниковой навигации и информатизации».

В настоящей статье определяется круг задач, которые оказывают существенное влияние на точность местопределения судна и требуют своего решения при повышении точности позиционирования судов при прохождении сложных участков ВВП, для повышения обеспеченной безопасности судоходства.

Для сравнения с морским позиционированием навигационных объектов, где точность увеличилась со 100 до 10 м, на ВВП, где участки с точки зрения навигационной обстановки затруднены, этой точности не достаточно, чтобы обеспечить безопасное судовождение. По влиянию на точность определения места навигационного объекта на ВВП можно выделить три важных сегмента:

— сегмент спутниковой системы;

— сегмент вспомогательных функциональных дополнений;

— сегмент приема и обработки информации для расчета точных координат.

Сегмент спутниковой системы, состоящий из космических аппаратов (КА) ГНСС ГЛОНАСС/GPS, позволяет потребителю определить местоположение (φ , λ) навигационного объекта с особой точностью. Основными источниками ошибок, влияющими на точность навигационных определений, являются следующие (рис. 1):

— эфемеридная погрешность (C/A-код — 1,2, P-код — 1,2). Данный вид погрешностей обусловлен расхождением между фактическим положением GPS спутника и его расчетным положением, определенным по данным эфемеридной информации навигационного сигнала, передаваемого с борта НИСЗ. Обычно значение такой погрешности не превышает 3 м;

— погрешность ухода шкалы времени спутника (C/A-код — 1,5, P-код — 1,5). Этот вид погрешности обусловлен расхождением шкал времени различных спутников и устраняется с помощью наземных станций слежения или за счет компенсации ухода шкалы времени в дифференциальном режиме определения местоположения.

Так как местоопределение судна зависит от КА, необходимо повышать точность контроля места КА (эфемеридная информация). В настоящее время эта точность неудовлетворительна, так как совместное использование ГЛОНАСС и GPS не повышает, а снижает точность местоопределения навигационного объекта [1];

— погрешности, обусловленные распространением радиоволн в ионосфере (C/A-код — 7, P-код — 2,25). Ионосферные задержки распространения сигналов, связанные с прохождением через верхние слои атмосферы, приводят к ошибкам порядка 20–30 м днем и 3–6 м ночью. Несмотря на то что навигационное сообщение, передаваемое с борта GPS-спутника, содержит параметры модели ионосферы, компенсация фактической задержки в лучшем случае составляет 50 %. Для борьбы с погрешностями, вызванными ионосферной рефракцией, используется передача навигационных сигналов с КА на двух частотах;

— погрешность, обусловленная распространением радиоволн в тропосфере (C/A-код — 0,7, P-код — 0,7). Тропосферные задержки навигационных сигналов возникают при прохождении радиоволн через нижние слои атмосферы. Величина этого вида погрешности при использовании сигналов с C/A-кодом не превышает 30 м.

Данные погрешности возможно снизить либо многочастотными приемниками навигационной аппаратуры потребителя (НАП), либо использованием локальных ККС.

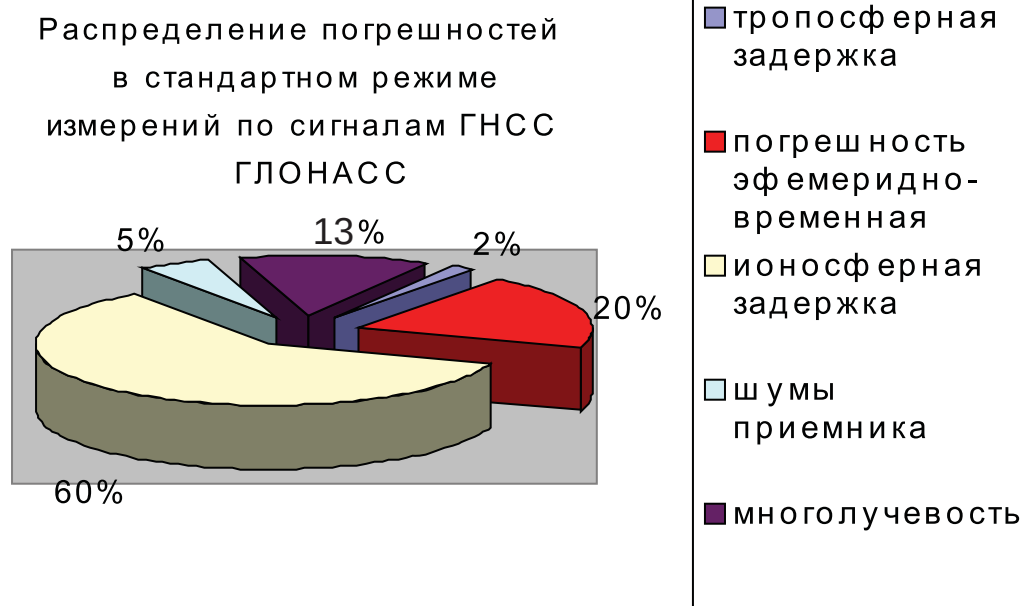


Рис. 1. Распределение погрешностей в стандартном режиме измерений по сигналам ГНСС ГЛОНАСС

Сегмент вспомогательных функциональных дополнений. Наметилась тенденция уменьшения погрешности с использованием сегментов вспомогательных функциональных дополнений в виде подсистем. ККС, работающие в СВ-диапазоне на частотах 283,5–325 кГц, передают приемникам НАП дифференциальные поправки (ДП), повышающие точность места определения.

Состав информации, передаваемой для проведения дифференциальной коррекции, в настоящее время стандартизирован рядом документов, из них требования RTCM SC-104 исполь-

зуются наиболее широко. Согласно RTCM SC-104 вся информация разбита на кадры 64 потенциальных типов, не все из которых, однако, будут использоваться во всех реальных дифференциальных системах.

ККС предусматривает выдачу корректирующей информации в линии связи в виде кадров сообщений RTCM-104.

Основной кадр 1 (31 для ГЛОНАСС) содержит дифференциальные поправки как таковые, включая поправки псевдодальности, скорости их изменения, возраста данных совместно с идентификатором для каждого КА и некоторые вспомогательные данные.

Кадр 3 (32 для ГЛОНАСС) содержит параметры ККС — координаты, вертикальную тропосферную поправку, поправки для генератора ККС, отношение С/Ш и некоторые другие.

Ввиду зависимости величины тропосферной задержки от высоты точки приема над уровнем моря величина соответствующей поправки должна определяться на ККС и сообщаться отдельно от других поправок и в виде, позволяющем учесть разность высот ККС и НАП, а именно в виде вертикальной поправки, пересчитываемой потребителем с учетом известной ему высоты над уровнем моря и угла места КА в реальную поправку. Это актуально, например, при использовании дифференциальной коррекции в сильнопересеченной местности, например в горах. Неучтенная тропосферная погрешность сказывается в первую очередь на точностных характеристиках НАП по вертикали (коэффициент пересчета погрешности около 3).

Кадр 5 (33 для ГЛОНАСС) характеризует годность всех используемых КА.

Кадр 6 (34 для ГЛОНАСС) предназначен для поддержания синхронизации в случае отсутствия реальной информации.

Кадр 9 (или 34 для ГЛОНАСС) похож на 1, но может содержать информацию по отдельным группам КА.

Кадр 16 (36 для ГЛОНАСС) — специальные информационные сообщения.

Кадры 18 и 19 содержат необработанные измерения по коду и фазе, произведенные на ККС (как по GPS, так и по ГЛОНАСС), предназначенные для высокоточного кинематического местоопределения пользователя в режиме реального времени (real time kinematic (RTK)).

Все кадры состоят из строк по 30 разрядов в каждой, включая 6 проверочных. Первые две строки каждого кадра одинаковы и содержат преамбулу, тип сообщения, идентификатор КС, значение Z-счетчика времени системы GPS, длину кадра, состояние КС. Приведем содержание основного кадра 1, который содержит шесть параметров (для каждого КА) в каждой строке, начиная с 3-й, всего 40 бит:

- поправка к псевдодальности PRC (16 разрядов);
- скорость изменения поправки RRC (8 разрядов);
- идентификатор КА (5 разрядов);
- масштабный коэффициент (1 разряд);
- эквивалентная погрешность квазидальности UDRE (2 разряда);
- возраст данных (8 разрядов) и т. д.

Наличие требуемой напряженности в точке приема сигнала НАП обеспечивается надежностью ДП (рис. 2).

Сегмент приема и обработки информации для расчета точных координат.

Для сегмента приема и обработки навигационной информации на ВВП служит НАП, которая предназначена для безопасного навигационного обеспечения судов речного флота при движении по озерам, водохранилищам, рекам и каналам, а также для морского и наземного транспорта [2].

НАП должна обеспечивать прием и совместную обработку сигналов:

- ГЛОНАСС — L1/L2/L3 — диапазонов частот (СТ-код);
- GPS — L1/L2/L5 — диапазонов частот (С/А-код);
- GALILEO — L1/E5a/E5b — диапазонов частот;
- SBAS — L1/L5 — диапазонов частот (С/А-код);

— береговых радиомаяков в диапазоне СВ-частот 283,5...325,0 кГц с дискретностью 500 Гц и УКВ-частот 433,92 МГц $\pm 0,2\%$, передающих корректирующую информацию для ГНСС, на базе отечественных приемовычислительных модулей соответствующих систем.

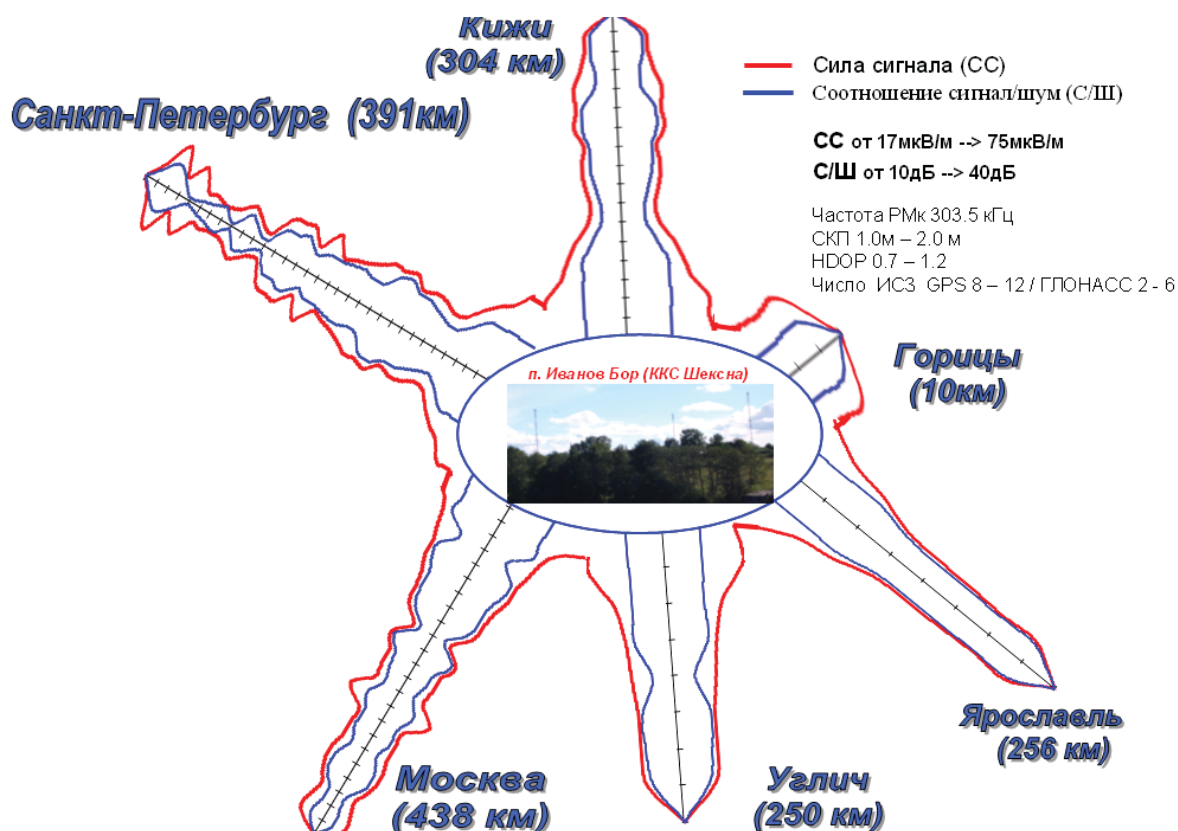


Рис. 2. Результаты показаний СС и С/Ш на удалении от ККС Шексна

НАП должна быть построена на базе трехдиапазонного (L1, L2, L3/L5/E5a/E5b), трехсистемного ГЛОНАСС/GPS/GALILEO, SBAS модуля ГНСС с возможностью приема сигналов при изменении их уровней на входе от -130 до -120 дБ/мВт. После завершения поиска сигналов должно обеспечиваться слежение за ними при понижении уровней сигналов до -133 дБ/мВт.

Выполнение вышеперечисленных требований к комплексной системе, обеспечивающей высокоточное местоопределение в радионавигационном поле ГНСС ГЛОНАСС/GPS, позволит обеспечить безопасное автоматизированное судовождение на затрудненных участках ВВП.

Список литературы

1. Соляков О. В. Математическое и информационное обеспечение внедрения спутниковой технологии в автоматизированных системах управления движением судов на внутренних водных путях: дис. ... канд. техн. наук / О. В. Соляков. — СПб.: СПГУВК, 2009. — 166 с.
2. Зуев В. Ф. Особенности программного обеспечения приемников ГНСС для речных судов внутреннего плавания / В. Ф. Зуев, В. Д. Ракитин, О. В. Соляков // Водные пути России: строительство, эксплуатация, управление: материалы тез. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 200-летию подготовки кадров для водного транспорта России. — СПб.: СПГУВК, 2009. — С. 77–80.

УДК 656.6.1+378.1

В. И. Дмитриев,
канд. техн. наук, доцент,
СПГУВК;**С. В. Козик,**
канд. воен. наук, доцент,
СПГУВК**ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ ПЛАВСОСТАВА****PSYCHOLOGICAL EDUCATION SUPPORT OF SEAFARERS**

В статье на основе анализа причин аварийности на флоте, возрастании в этом роли человеческого фактора обосновывается необходимость организации психологической подготовки плавсостава. Психологическая подготовка будущих офицеров флота проводится и в ходе обучения по новой дисциплине «Психологические основы управления судовым экипажем» и в результате психологического обеспечения образовательного процесса в университете. Представлены организационные формы психологического обеспечения образовательного процесса.

In this article, by analyzing the causes of accidents in the fleet, an increase in the role of human-factors that justified the need for psychological training of seafarers is grounded. Psychological training of future officers of the fleet is carried out in the course of learning a new discipline "The psychological foundations of management of the ship's crew" and as a result of the psychological support of the educational process at the university. Organizational forms of psychological support of the educational process are presented.

Ключевые слова: человеческий фактор, психологическое обеспечение, психологическая подготовка, психологическая служба, психолого-педагогическая служба.

Key words: human factors, psychological support, psychological training, psychological service, psychopedagogical service.



АВАРИЙНОСТЬ на транспорте, в том числе и на водном, — объективная реальность, обусловленная сложными факторами транспортного процесса. Полное устранение этого негативного явления, к сожалению, не представляется возможным. Однако на практике вполне допустимо влиять на аварийность с помощью различных мер технического, организационного, эксплуатационного и правового характера и достичь ее относительного снижения на определенный период времени.

Аварийность судов зачастую влечет за собой человеческие жертвы и загрязнение водной среды, поэтому постоянная борьба за уменьшение числа аварийных случаев — насущная необходимость, продиктованная жизненными, моральными и хозяйственными интересами.

По данным Российского морского регистра судоходства, порядка 80 % аварийных случаев в находящемся под наблюдением Регистра флоте прямо или косвенно связаны с влиянием человеческого фактора. Примерно такие же цифры характеризуют причины аварийности и по мировому флоту. Так, по данным различных страховых компаний, анализирующих причины морских аварий, приведших к гибели людей, грузов и судов, а также загрязнению окружающей среды, в 60–80 % случаев аварии — результат непрофессиональных действий человека.

О чем свидетельствуют вышеприведенные цифры?

С одной стороны, это говорит о том, что чем выше эта доля, тем меньше аварий по причине отказа судовых технических систем и форс-мажорных факторов, с другой — необходимо направить все усилия на снижение доли человеческого фактора в общем числе аварий.

Ведь аварийность на флоте обусловлена тремя основными причинными факторами: непрофессиональными действиями экипажа (человеческий фактор), непредсказуемыми отказами функционирования техники (технический фактор) и неблагоприятными состояниями внешней среды (внешний фактор).

Можно высказать на первый взгляд парадоксальную мысль — необходимо стремиться к тому, чтобы доля человеческого фактора в общем числе аварий составляла 100 %! Это будет свидетельствовать о том, что степень надежности судовых технических систем составляет 100 %. Это во-первых. И во-вторых, никакие форс-мажорные обстоятельства в виде неблагоприятных погодных условий не сказываются на безопасности плавания судов, то есть суда надежны на 100 %!

Отсюда следует, что усилия необходимо направить не только на повышение надежности судовых технических систем и самого судна, способного противостоять любой стихии, но и сконцентрировать их на снижении аварийных случаев по причине непрофессиональных действий экипажа.

Со второй половины XX в. во всех развитых странах началось активное изучение влияния психологических особенностей моряков на эффективность их деятельности в системе «судно—среда—человек».

Наибольший интерес среди объектов этих исследований представляет профессиональная группа судоводителей. Так, оказалось, что в работе судоводителей наибольшее удельное значение (36 %) имеют ошибки, связанные с запаздыванием принятия решений и необходимых действий. На втором месте (31,6 %) находятся причины, связанные с запоздалым обнаружением опасности. Третье место (16,2 %) приходится на выполнение необоснованных маневров на малых расстояниях и в неподходящих условиях и еще 16,2 % приходится на все остальные аварии [1].

Сейчас ученые в спектр актуальных проблем, связанных с управлением судном, включают психологические аспекты профессионального реагирования и межличностного взаимодействия. Считается необходимым рассчитывать специфику психологических особенностей каждого члена экипажа судна, уровень сформированности его профессионально важных качеств.

К сожалению, психология все еще не играет на флоте той роли, которую должна была бы играть. Не всегда осознается важность психологических рекомендаций, имеющиеся на сегодняшний день достижения психологии реализуются не в полной мере. Далеко не везде и не всегда решаются такие традиционные и столь важные для морского флота проблемы, как организация профессиональной психологической диагностики судовых специалистов и поддержание высокого уровня их психологической готовности к работе.

Мало используется опыт психологии в учебных заведениях водного транспорта. Практически отсутствуют специализированные кафедры и специалисты, занимающиеся вопросами психологии для водного транспорта. Нет учебников и учебных пособий по курсу морской психологии. Нет четких программ, учебных планов и методических рекомендаций, позволяющих в достаточной мере вести психологическую подготовку студентов (курсантов), не предусматриваются для этих целей специализированные практические занятия, например психологические тренинги. Да и само понятие «морская психология» пока еще скорее формальное, чем реальное, не имеющее под собой хорошо проработанной научной, методической и практической базы.

Следствие этого — низкий уровень психологических знаний у работников судоходных компаний, плавсостава, значительной части преподавателей высших и средних учебных заведений водного транспорта.

Существенным прорывом в этой области являются принятые в Маниле поправки (Манильские поправки) к Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 г. (ПДМНВ-78) [2]. Они предусматривают, в частности, обязательную подготовку командного состава судна в области управления ресурсами навигационного мостика, а также умение осуществлять руководство судовым персоналом.

В связи с этим в Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) третьего поколения по специальности 180403 «Судовождение» в гуманитарный, социальный и экономический цикл учебного плана подготовки включена дисциплина «Психологические основы управления судовым экипажем».

В соответствии с ФГОС ВПО специалист по направлению подготовки 180403 «Судовождение» должен решать следующие профессиональные задачи в организационно-управленческой деятельности:

— организация работы коллектива исполнителей с разнородным национальным, религиозным и социально-культурным составом, осуществление выбора, обоснования, принятия и реализации управленческих решений;

— организация работы коллектива в сложных и критических условиях, при чрезвычайных ситуациях, осуществление выбора, обоснования, принятия и реализации управленческих решений в рамках приемлемого риска.

Среди общекультурных компетенций, которыми должен обладать специалист, есть следующая (ОК-5): знание психологических основ управления коллективом, способов влияния на формирование целей команды и способов воздействия на ее социально-психологический климат.

Психологические знания помогают моряку правильно понять свои личностные особенности и найти рациональные приемы для самоформирования профессионально важных качеств; дают возможность проанализировать и объективно оценить психологические особенности других людей, без учета которых невозможно добиться успешной совместной работы в экипаже; позволяют моряку предвидеть и предупредить многие негативные явления, присущие длительному рейсу [3].

Велика роль психологических знаний для выпускников учебных заведений водного транспорта, будущих командиров, перед которыми зачастую встают задачи руководства коллективами в особо сложных условиях.

Широкое внедрение достижений научно-технической революции на флоте потребовало пересмотра требований, предъявляемых к специалистам водного транспорта, особенно к плавсоставу. Исследования показали, что определенные группы людей, несмотря на достаточное здоровье и активное стремление к работе на флоте, не могут в силу своих психологических особенностей при этом добиться необходимого для службы на судах профессионального мастерства. Даже при достаточном уровне общих и специальных знаний они не только труднее и медленнее овладевают специальностью в процессе подготовки, но и работают на флоте хуже других, чаще допускают ошибки, являются основными виновниками разного рода аварий.

Необходимо поставить и решить задачу организации систематической и целенаправленной диагностики уровня развития профессионально важных качеств у кандидатов для обучения в учебных заведениях водного транспорта, чтобы как можно раньше начать планомерную психологическую работу по их развитию и формированию. Мы должны в ходе диагностики не закрывать двери на флот, а рекомендовать и советовать молодому человеку те или иные конкретные шаги. Человек может выработать отдельные недостаточно развитые качества личности, причем с тем большей вероятностью, чем более упорно и настойчиво он к этому стремится. Бывают случаи, когда недостающие качества заменяются другими, если студенту (курсанту) удастся таковые в себе воспитать. Они вырабатываются упорным и долгим трудом, помноженным на желание и силу воли. Явление компенсации одних личностных качеств другими обязательно следует учитывать в практике формирования профессионально важных качеств.

На наш взгляд, для широкого внедрения диагностики профессионально важных качеств в практику приема в учебное заведение необходима большая разъяснительная работа среди абитуриентов и преподавателей, организация системы профориентационных мероприятий, глубокое научное обоснование применения методик диагностики, изучение взаимосвязи личностных особенностей и профессиональных требований к судовым специалистам, реакций личности на профессиональные и связанные с ними нагрузки на флоте.

Ни один метод психологии не получал, пожалуй, таких противоречивых оценок, не имел такого количества критики, как психологические тесты. Возможность применения тестов всегда вызывала острые дискуссии. Правда, в последнее время все больше специалистов убеждается в эффективности применения этого метода. Сейчас уже ставится вопрос не о возможности применения тестов для тех или иных практических целей, а о грамотном их использовании.

Целесообразно сразу же после зачисления студентов (курсантов) в учебные заведения заводить на них «профессиональный личностный паспорт», содержащий комплекс психологических

и психофизиологических характеристик индивида и перечень наиболее предпочтительных для него видов профессиональной деятельности (специальностей) на флоте. В этом паспорте в дальнейшем должны отмечаться все результаты психодиагностических обследований, рекомендаций по психологической коррекции недостаточно развитых профессионально важных качеств и целесообразности использования студента (курсанта) в той или иной специальности, а после прихода на флот — в той или иной должности.

Человек, удачно выбравший профессию, живет интересной и полнокровной жизнью, и не удивительно, что перед ним отступает даже старость. По данным геронтологов, подавляющее большинство людей в возрасте 80 лет и старше не меняли профессию на протяжении 60–70-летней трудовой жизни. Это означает, что для человека, выбирающего профессию моряка, крайне необходима научная помощь. И психологи должны помочь ему выбрать профессию на всю жизнь.

Психологическая помощь будущим морякам в ходе их обучения и становления в стенах образовательного учреждения должна быть оказана в рамках налаженной системы психологического обеспечения всех аспектов деятельности образовательного учреждения, и в первую очередь образовательного процесса.

Нет четко устоявшегося определения термина «психологическое обеспечение». Для этого есть и объективные (состояние научной разработанности проблемы) и субъективные причины (место, время, люди, средства).

Предлагается использовать следующее рабочее определение: **это целенаправленное и планомерное использование психологических знаний в управлении образовательным процессом для повышения его эффективности.**

Термин «знание» используется в очень широком смысле — это и знание психологических особенностей субъектов процесса (студентов, педагогов, других специалистов образовательного учреждения), это и психологические знания о процессах управления, это и психологические знания о процессах возрастных изменений человека, профессиональных деформациях и т. д.

Психологические знания «добываются» (получаются, собираются и т. д.) в результате **комплекса психологических работ**, они должны быть актуальными, объективными, адекватными для выработки управленческих решений.

В образовательном учреждении основной составляющей психологических знаний является информация о психологических особенностях студентов — развернутая психологическая характеристика (психологическое досье) студента.

Для выполнения такого комплекса психологических работ создается штатное подразделение учреждения, чаще всего это **психологическая служба** [4].

Критерий эффективности (целевая функция, цель) управления образовательным процессом — тоже многоплановое понятие, так как формируется вне «поля» системы психологического обеспечения, как внешний фактор из более общей системы.

В зависимости от «мощности» (объемности, сложности) критерия эффективности разрабатываются различные модели психологической службы, например модель М. Р. Битяновой на базе идеи психологического сопровождения, Ю. М. Забродина — личности в психодиагностике, А. В. Шувалова — антропологический подход к решению проблемы поддержания психологического здоровья, В. И. Слободчикова — мыследеятельностная модель системы развивающего образования и др.

Таким образом, можно сделать вывод (в самой первичной оценке рассматриваемого вопроса), чтобы было *психологическое сопровождение*, нужно организовать *психологическую службу*, которая в ходе *комплекса психологических работ* составит (будет поддерживать в актуальном состоянии) *развернутую психологическую характеристику студентов* (психологическое досье студента).

Комплекс психологических работ включает:

- психодиагностическую работу;
- консультационную работу;
- экстренную психологическую помощь.

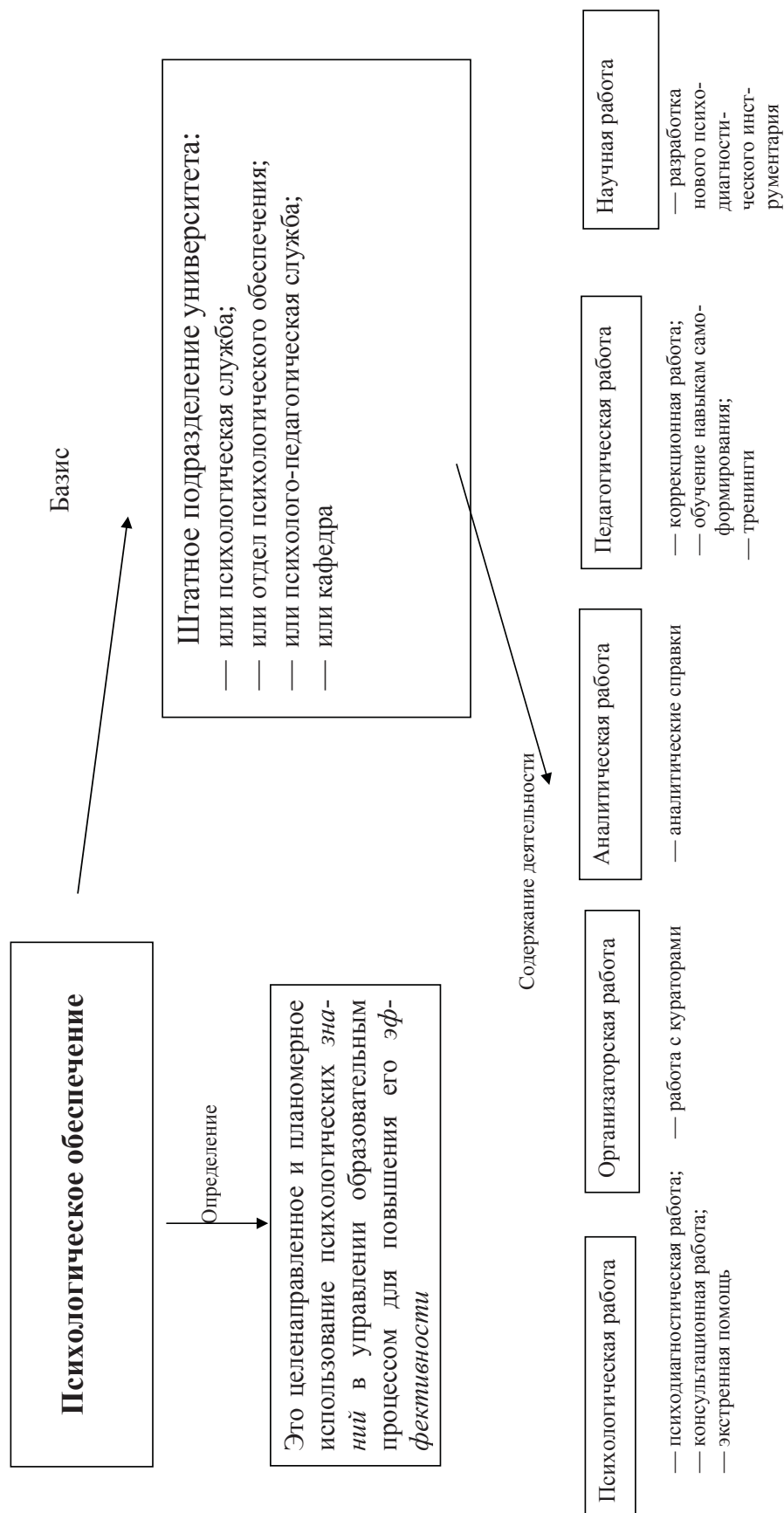


Рис. 1. Элементы психологического обеспечения

Анализ многолетнего опыта деятельности психологических служб (или подразделений, имеющих другое название, но решающих схожие задачи, в первую очередь это подразделения профессионального-психологического отбора, которые, например, в военно-морском флоте действуют с 1979 г.) позволяет выделить узловые моменты правильной организации психологической работы:

— для каждого вида работ нужен психолог, получивший специализацию по этому виду работы;

— качественная психодиагностическая работа может проводиться только в специально выделенные часы учебных занятий;

— качественная психодиагностическая работа может быть проведена только при наличии автоматизированной системы психодиагностики (сетевой компьютерный класс на 15–20 рабочих мест и специальное программное обеспечение);

— соблюдать важнейший принцип психодиагностики — сообщать обследуемому результаты психодиагностики (консультационная работа в расширенном варианте).

Следующий этап развития психологической службы связан с расширением спектра психологической работы.

Введение *коррекционной психологической работы* потребует создания *психолого-педагогической службы* подразделения, наиболее полно отвечающего комплексу мероприятий, обеспечивающих психологическое сопровождение.

Но базовой организацией для психолого-педагогической службы может быть только специализированная кафедра, например кафедра психологической подготовки, где студенты получают знания и навыки саморазвития с целью формирования у себя профессионально важных качеств [5].

В рамках учебного процесса наиболее оптимально проведение этой кафедрой всех видов психологической работы.

Психологическое обеспечение подготовки кадров плавсостава имеет исключительно важное значение для повышения качества и надежности судовых специалистов, безопасности судоходства. Очевидно, многое в решении психологических проблем, стоящих в единстве перед системой подготовки плавательных специальностей и флотом, зависит в первую очередь от квалифицированной и искусной организации и деятельности психологической службы отрасли, ее кадрового и материально-технического обеспечения. Вместе с тем немалую роль в этом играют и все остальные подразделения судоходных компаний и учебных заведений водного транспорта, без активного сотрудничества которых психология на водном транспорте вряд ли добьется значительных успехов.

Список литературы

1. Качество судоходства: стандарты XXI века: XII Междунар. семинар. — СПб.: Морской регистр России, 2009. — 113 с.
2. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (ПДМНВ–78) с поправками. — СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 2010. — 805 с.
3. Оперативная оценка функционального состояния судоводителя: отчет по НИР. — СПб.: СПГУВК, 2010. — 94 с.
4. Козик С. В. Концепция «Системы формирования профессионально важных качеств» у курсантов военно-морского института / С. В. Козик. — СПб., 2001. — 103 с.
5. Зайцев А. Г. Теория и практика здоровья: Валеология профессиональной деятельности и семейной жизни / А. Г. Зайцев, С. В. Зайцев, С. В. Козик. — СПб., 2003. — 156 с.

СПОСОБ ВЫБОРА ДОПУСТИМОЙ СКОРОСТИ ПРОХОДА СУДОВ
ПОД МОСТАМИMETHODS OF CHOICE OF PERMISSIBLE SPEED WHEN PILOTING THROUGH
THE BRIDGE SPAN

Настоящая статья посвящена вопросу безопасности проводки судов через судоходный пролет моста на ВВП. Произведена оценка допустимой скорости движения при минимальном навигационном риске прохода судна через судоходный пролет мостов.

The paper considers the problem of safety of ships piloting through the bridge span on inland waterways. Evaluation of permissible traveling speed with minimum risks for ships piloting through the bridge span is estimated.

Ключевые слова: оценка навигационных рисков, анализ навигационной безопасности.

Key words: navigational risks calculation, analysis of navigation safety.



ПРОХОД судами мостов на реке представляет определенную сложность. При ограниченных подмостовых габаритах задача сводится к гарантированному проходу узкости, размеры которой соизмеримы с главными размерениями судна.

При этом для обеспечения навигационной безопасности прохода судов под мостом необходимо определить требуемую скорость движения, так как при малой скорости движения возможен удар судна об опоры моста. Предлагается способ выбора скорости судна, сущность которого заключается в следующем.

Если известны длина и ширина навигационной опасности в виде мостовых опор, то можно определить время прохода оконечностями судна (форштевнем и ахтерштевнем) опасных точек.

При этом общий вектор скорости движения, представляющий собой сумму векторов собственного движения и общего сноса ветром и течением, будет случайной величиной, распределенной по нормальному закону. Его составляющая по курсу судна существенного влияния на навигационную безопасность не оказывает, а только влияет на увеличение или уменьшение общего времени прохода опасности.

На навигационную безопасность в основном будет оказывать влияние боковое смещение судна, обусловленное углами сноса судна. Статистические характеристики скорости бокового сноса различных типов судов в районе Новоадмиралтейского моста для различных расходов в р. Нева приведены в табл. 1.

Таблица 1

Статистические характеристики изменчивости
бокового сноса судов

Тип судна	Расход	Статистические характеристики, м/с	Вероятностная обеспеченность		
			0,673	0,95	0,997
«Валдай»	Средний	M	0,064	0,073	0,082
		σ	0,03	0,06	0,1
	Максимальный	M	0,18	0,21	0,24
		σ	0,04	0,09	0,16

Таблица 1
(Продолжение)

«Волгонефть»	Средний	M	0,08	0,09	0,1
		σ	0,03	0,07	0,12
	Максимальный	M	0,18	0,22	0,26
		σ	0,04	0,09	0,17
«Буксируемый состав»	Средний	M	0,03	0,04	0,05
		σ	0,01	0,04	0,05
	Максимальный	M	0,1	0,11	0,12
		σ	0,02	0,05	0,08

Если известны параметры бокового сноса, то можно определить среднее значение величины сноса и его дисперсию. Тогда оценку навигационной безопасности можно определить как вероятность непревышения величины бокового сноса судна ширины подмостового габарита.

Среднее значение расстояния составит

$$m_{SB} = m_{VB} t, \quad (1)$$

где t — время прохода моста.

Среднее квадратическое отклонение определяется следующим образом. Известно, что дисперсия расстояния при случайной скорости движения описывается выражением [2]:

$$D_S(t) = 2\sigma_{VB}^2 \int_0^t k(\tau)(t-\tau)d\tau, \quad (2)$$

где $k(\tau)$ — корреляционная функция изменчивости скорости бокового сноса;

τ — аргумент корреляционной функции;

σ_{VB}^2 — дисперсия изменчивости скорости бокового сноса;

t — время прохода опор моста.

С учетом малого времени прохода опор моста (при $V_C = 5$ м/с время прохода форштевнем опор моста составляет 10 с, а время прохода ахтерштевня — 40 с), выражение (2) можно упростить:

$$\lim \left[2\sigma^2 \int_0^t k(\tau)(t-\tau)d\tau \right] \rightarrow 2\sigma^2 t^2, \quad t \rightarrow 0, \quad (3)$$

а значит, среднее квадратическое значение скорости бокового сноса составляет

$$\sigma_{SB} = \sqrt{2} \sigma_{VB} t. \quad (4)$$

Обобщенные данные по расстояниям боковых сносов при проходе судов различных типов через мосты при разных значениях m_{VB} и σ_{VB} приведены в табл. 2.

Следует еще раз напомнить, что указанные в таблице расстояния боковых сносов конечностей судна пропорциональны времени прохода судном опор моста.

Применение формул (1) и (4) для ахтерштевня и форштевня судна позволяет получить данные по возможным смещениям конечностей судна при проходе моста.

Таблица 2

**Характеристики навигационных рисков при проходе типовых судов
через Новоадмиралтейский мост (вниз по течению)**

Тип судна	Расход	$m_{гх}$, м/с	$\sigma_{гх}$, м/с	B , м	Снос форштевня, м				Общий снос носовой части судна, м			
					Снос				Общий снос кормовой части судна, м			
					актерштевня, м				Вероятность успешного прохода			
«Валдай»	Средний	0,06–0,08	0,03–0,10	16,3	0,673	0,95	0,997	0,673	0,95	0,997	0,997	0,997
					1,0	1,3	2,8	17,0	17,6	19,1	19,1	19,1
	Максимальный	0,18–0,24	0,04–0,16	16,3	4,3	6,3	18,7	20,6	22,6	25,2	25,2	25,2
					2,4	3,4	4,6	18,7	19,7	21,2	21,2	21,2
					9,45	13,7	18,7	27,7	29,8	35,0	35,0	35,0
«Волго-нефть»	Средний	0,08–0,10	0,03–0,12	16,7	1,2	1,9	2,7	17,2	17,9	18,7	18,7	18,7
					4,8	7,5	10,8	20,8	23,5	26,8	26,8	26,8
	Максимальный	0,18–0,26	0,04–0,17	16,7	1,4	3,5	5,0	18,1	20,2	21,7	21,7	21,7
					9,45	13,9	20,0	26,15	30,6	36,7	36,7	36,7
					0,44	1,0	1,2	16,44	17,0	17,2	17,2	17,2
Буксируемый состав	Средний	0,03–0,05	0,01–0,05	16,0	1,8	3,8	4,5	17,8	19,8	20,5	20,5	20,5
					1,3	1,8	2,2	17,3	17,8	18,2	18,2	18,2
	Максимальный	0,1–0,12	0,02–0,08	16,0	6,4	9,1	11,6	22,4	25,4	27,6	27,6	27,6

Для выбранных типов судов приведены результаты расчетов ожидаемых боковых смещений судна с различной вероятностной обеспеченностью для различного времени прохода судов. Под временем прохода понимается время от момента пересечения форштевнем уреза моста до момента пересечения ахтерштевнем уреза оконечности судоходного пролета. В табл. 3 приведены результаты оценки возможного бокового смещения буксируемого состава с различной вероятностной обеспеченностью для различных расходов р. Нева в районе Новоадмиралтейского моста. Из результатов анализа приведенных данных следует, что при успешности $P = 0,997$ время прохода буксируемого состава не должно превышать 45 с.

Аналогичные результаты оценки необходимого времени прохода получены для судов типа «Волгонефть» (табл. 4) и для судов типа «Валдай» (табл. 5).

Таблица 3

**Боковое смещение судна при заданном времени прохода судна
пролета Новоадмиралтейского моста при среднем и максимальном расходах р. Нева
для буксируемого состава**

Время прохода моста t , с	Вероятностное обеспечение		
	0,68	0,95	0,997
10	0,4/1,2	1,0/2,5	1,2/4,4
15	0,6/1,9	1,5/3,75	1,8/6,6
20	0,8/2,6	2,0/5,0	2,4/8,8
25	1,0/3,25	2,5/6,25	3,0/11,0
30	1,2/3,9	3,0/7,5	3,6/13,2
35	1,4/4,6	3,5/8,75	4,2/15,4
40	1,6/5,2	4,0/10,0	4,8/17,6
45	1,8/5,8	4,5/11,3	5,4/19,8
50	2,0/6,5	5,0/12,5	6,0/22,0
55	2,3/7,2	5,5/13,7	6,6/24,2
60	2,4/7,8	6,0/15,0	7,2/26,4

Таблица 4

**Боковое смещение судна при заданном времени прохода судна типа «Волгонефть» через
пролет Новоадмиралтейского моста при среднем и максимальном расходах р. Нева**

Время прохода моста t , с	Вероятностное обеспечение		
	0,68	0,95	0,997
10	1,2/2,4	1,9/3,5	2,7/4,9
15	1,8/3,6	2,8/5,2	4,1/7,3
20	2,4/4,8	3,8/7,0	5,4/9,8
25	3,0/6,0	4,7/8,8	6,75/12,3
30	3,6/7,2	5,7/10,5	8,1/14,7
35	4,2/8,4	6,7/12,5	10,5/17,2
40	4,8/9,6	7,6/14,0	10,8/19,6
45	5,4/10,8	8,5/15,8	12,2/22,1
50	6,0/12,0	9,5/17,5	13,5/24,5
55	6,6/13,2	10,5/19,2	14,8/27,0
60	7,2/14,4	11,4/21,0	16,2/29,4

Таблица 5

Боковое смещение судна при заданном времени прохода судна типа «Валдай» через пролет Новоадмиралтейского моста при среднем и максимальном расходах р. Невы

Время прохода моста t , с	Вероятностное обеспечение		
	0,68	0,95	0,997
10	1,0/2,4	1,5/3,3	2,2/4,6
15	1,5/3,6	2,3/4,9	3,3/6,9
20	2,0/4,8	3,0/6,6	4,4/9,2
25	2,5/6,0	3,7/8,3	5,5/11,5
30	3,0/7,2	4,5/9,9	6,6/13,8
35	3,5/8,4	5,3/11,5	7,5/16,1
40	4,0/9,6	6,0/13,2	8,8/18,4
45	4,5/10,8	6,75/14,9	9,9/21,0
50	5,0/12,0	7,5/16,5	11,0/24,0
55	5,5/13,2	8,25/18,2	12,1/25,3
60	6,0/14,4	9,0/19,8	13,2/27,6

Таким образом, предложен способ определения допустимой скорости прохождения судна между опорами моста при наличии случайной составляющей скорости бокового сноса в зависимости от уровня навигационного риска.

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. Выготский М. Я. Справочник по высшей математике / М. Я. Выготский. — М.: Наука, 2002.
3. Некрасов С. Н. Оценка навигационных рисков при проектировании Новоадмиралтейского моста / С. Н. Некрасов, Ю. Г. Андреев // Журнал университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2012.

УДК 621.391.6.656.621

А. Н. Анисимов,
канд. техн. наук, доцент,
Мурманский филиал СПГУВК

ПРОПУЛЬСИВНЫЙ КОМПЛЕКС СУДНА В УСЛОВИЯХ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ

PROPULSION SHIP IN AN ICE COMPLEX NAVIGATION

В статье рассматриваются вопросы повышения пропульсивных качеств судна с эксплуатационных позиций, то есть с позиций организационно-технических мероприятий. Использование ДАУ в одном ре-

жиме управления СЭУ при свободном плавании и на стесненной акватории, на чистой воде и при ледовом плавании может быть потенциальной причиной инцидентов. Необходимы процедуры управления СЭУ для разных условий плавания.

This article discusses the issues of improving the qualities of the vessel propulsion performance positions, i.e. in terms of organizational and technical measures. The use of DHOWS in the control mode free EMS shipping and at limited areas for clean water and ice swimming could be a potential cause of incidents. EMS management procedures are needed for different conditions.

Ключевые слова: пропульсивный комплекс, винт регулируемого шага, система дистанционного автоматического управления, взаимодействие гребного винта и главного двигателя.

Key words: propulsion system, the screw propeller, a system of remote automatic control, propeller and engine.

1. Введение

Опыт ледовой проводки танкеров и швартовки высвечивает основные проблемы, с которыми встречается лоцман, одна из них — это неготовность капитана управлять судном во льдах. Например, капитан по национальности индус категорично заявляет, что у судна заднего хода во льдах нет. После объяснения ситуации, мол, вы можете стоять до весны в ожидании чистой воды, и после эмоциональных, но скорых дискуссий с офисом, так как время до полной воды, на которую планируется проход самого мелкого участка фарватера, уходит, задний ход появляется. Или капитан турок, заявляющий, что заднего хода нет, а порт в лице лоцмана должен обеспечить безопасную постановку к причалу во льду. При маневрировании во льдах на акватории лоцман требует немедленно дать задний ход во избежание посадки на мель, и после кратковременной суеты на мостике работа ГД на задний ход обеспечивается. Однако при выводе судна из порта капитан «молит» лоцмана не давать задний ход, так как это распоряжение судовладельца и его снимут с судна. Это не единичные случаи, а систематические заявления капитанов. Сегодня нужно разобраться, что же это такое — обеспечение безопасности мореплавания, либо это неподготовленность капитана и судовладельца к плаванию судна в ледовых условиях, либо, действительно, судно не может дать задний ход в силу разных причин.

Повреждение винта во льдах — это самое вероятное и распространенное, что может случиться, и самое неприятное, когда судно теряет ходовые качества. Деформация лопастей винта — случай, в основном связанный с застреванием судов во льдах. Анализ показывает, что суда с одинаковым ледовым классом и водоизмещением разных компаний в разные годы имели такие повреждения. Однако суда меньшего водоизмещения такого же ледового класса не имели повреждений ГВ. Винты тех и других судов изготовлены из одной марки сплавов. Возникает вопрос: или это профессиональный уровень капитана, лоцмана, или это качество постройки винта, качество льда, или это проблема использования ГВ, изготовленных из одинаковой марки сплава, для судов, значительно больших по тоннажу, имеющих одинаковый ледовый класс, с судном меньшего тоннажа.

Или ситуации с судами с русскоязычным экипажем, где зачастую используют одну помпу на рулевой машине при ледовом плавании. В нормативных документах прописано, что в ледовых условиях необходимо управление рулем в ручном режиме с двумя включенными рулевыми машинами. Использование одной рулевой машины объясняют тем, что если одна сломается, то другая останется в рабочем состоянии, хотя понимают, что вероятность выхода из строя рулевой с одной помпой больше, чем с двумя работающими помпами. Может, действительно, в этом есть здравый смысл и за этим стоит практический опыт ледового плавания, если из строя вышла одна помпа, то со второй судно будет управляемо и сможет следовать хотя бы с ледокольной проводкой, а не быть беспомощным во льдах.

Порт порту рознь и в каждом порту свой уровень технической оснащенности. Например, для обслуживания однотипного судна в одном порту согласно Нормам проектирования используются два современных мощных буксира, в другом — с суммарным запасом мощности, на 10 % превы-

шающим Нормы, и большее количество стареньких маломощных буксиров. Но 10 %-ный запас морально и физически устаревших буксиров не перекрывает тех маневренных качеств, которые необходимы для безопасной швартовки судов. А если принять во внимание швартовку в ледовых условиях, то зачастую им самим необходима помощь, и дополнительно процент увеличения мощности на ледовое плавание за счет еще одного маломощного буксира тем более не улучшает маневренных качеств буксиров во льдах и безопасность швартовки.

Вышеотмеченные проблемы отчасти можно объяснить условиями и размерами ставок страхования судна, экипажа и пр. Обеспечение безопасности мореплавания в системе «судно–человек–море» в условиях фазового перехода, когда элемент «море» из традиционного (жидкая среда) переходит в твердое (лед), должно учитываться всеми, кто вовлечен в эту систему. В этом случае в условиях ледового плавания стабильность системы требует от остальных элементов «человек» и «судно» существенных изменений, чтобы на выходе обеспечивалось состояние безопасного мореплавания.

2. Взаимодействие ГВ с СЭУ

Для движения судна с заданной скоростью к корпусу его нужно приложить движущую силу — упор, создаваемый гребным винтом (ГВ). Двигатель создает упор за счет полученного от главного двигателя (ГД) энергии. Упор зависит от силы сопротивления среды движению судна, которая, в свою очередь, зависит от размеров судна, формы и скорости судна. ГД, ГВ и корпус составляют пропульсивный комплекс (ПК) судна. От совершенства каждого из элементов ПК зависит важное мореходное качество — ходкость. Ходкость тем лучше, чем большую скорость сможет развить судно при заданной мощности ГД.

При преобразовании энергии ГД в энергию движущей силы часть энергии теряется в двигателе. Поэтому к ГВ подводится энергия, превышающая буксировочную (эффективную) мощность:

$$Pe = Te V, \quad (1)$$

где Pe — буксировочная мощность; V — скорость буксировки; $Te = R$ — тяга ГВ, уравновешиваемая сопротивлением среды R .

Уровень совершенства двигателя определяет пропульсивный коэффициент полезного действия, который представляет собой отношение буксировочной к мощности, подводимой к ГВ:

$$\eta_D = Pe / P_D = \frac{RV}{2\pi n Q_B} = \frac{TV_A}{2\pi n Q} = \frac{(1-t)}{(1-W_T)} \frac{1}{i_Q} = \eta_0 \eta_H, \quad (2)$$

где η_D — пропульсивный КПД; η_0 — КПД ГВ в свободной воде; η_H — КПД влияния корпуса; P_D — мощность, подводимая к ГВ; Q_B — крутящий момент на ГВ; t — коэффициент засасывания; W_T — коэффициент попутного потока; π — число пи; T — упор ГВ; V_A — скорость потока в диске ГВ; Q — крутящий момент ГВ в свободной воде; n — частота вращения ГВ; i_Q — коэффициент, учитывающий влияние неравномерности потока в диске на момент ГВ.

Проектная скорость судна обеспечивается при полном использовании мощности СЭУ и номинальной частоте оборотов. Несоответствие ГВ и СЭУ приводит к недоиспользованию мощности или к перегрузке ГД, то есть ГВ может быть «легким» или «тяжелым». Известно, что ГД взаимодействует с ГВ кинематически и динамически. *Кинематическая связь* выражается в равенстве частот вращения вала ГД и ГВ. *Динамическая связь* выражается в равенстве моментов ГВ и на валу ГД, то есть

$$Q_{ГД} = Q_B / \eta_S, \quad (3)$$

где $Q_{ГД}$ — крутящий момент на валу ГД; $Q_B = k_Q \rho n^2 D^5$ — момент на ГВ; η_S — КПД передачи.

Гидродинамические характеристики ГВ в свободной воде определяются в зависимости от относительной поступи, то есть

$$J = V_A / (nD), \quad (4)$$

где J — относительная поступь ГВ; V_A — осевая скорость (с учетом скорости попутного потока при работе ГВ за кормой судна); n — частота вращения ГВ; D — диаметр ГВ.

ГД вырабатывает столько мощности, сколько потребляет ГВ:

$$P_s = P_D / \eta_s = P_e / \eta_D \eta_s, \quad (5)$$

где P_s — мощность ГД при работе на ГВ; P_D — мощность, подводимая к ГВ.

Экспериментально установлено, что между скоростью судна и частотой вращения ГВ существует линейная зависимость, то есть $V \approx n$ — скорость пропорциональна частоте вращения при $J = \text{const}$ в рабочем диапазоне частот. Поскольку коэффициент момента ГВ есть функция относительной поступи и шагового отношения $k_Q = f(J, P/D)$, то можно считать, что $k_Q = \text{const}$.

По аналогии с ГВ крутящий момент ГД представим

$$Q_{ГД} = k_Q^* \rho n^2 D^5. \quad (6)$$

При условии, что $Q_{ГД} = \text{const}$, коэффициент k_Q^* является функцией частоты вращения $k_Q^* = k_Q^*(n)$. Условие $Q_{ГД} \approx Q_B$ приводит (3) к равенству $k_Q = k_Q^*$, которое обеспечивается соответствующим шагом ГВ (4). Но поскольку для данного ГВ $k_Q = k_Q(J)$, а для ГД $k_Q^* = k_Q^*(n)$, то при изменении сопротивления судна при $n = \text{const}$ условие равенства коэффициентов нарушается, что и приводит к рассогласованию совместной работы ГВ и ГД.

Проанализируем (2) при ледовом плавании судна. Действительно, при входе в лед или при форсировании торосистого льда увеличивается нагрузка на корпус судна при еще постоянной частоте вращения ГД и не изменившемся моменте на ГВ, пропульсивный коэффициент еще будет сохранять свою первоначальную величину за счет снижения скорости судна, то есть кинематическая связь (3) ГВ и ГД не нарушается. Удержание частоты оборотов ГД временно происходит за счет увеличения мощности ГД и перехода работы его на другие утяжеленные винтовые характеристики, к району ограничительных характеристик по тепловой и механической напряженности. Однако долго это продолжаться не может, если ледовая нагрузка не уменьшается или продолжает увеличиваться, начинает сказываться падение скорости судна на скорость обтекания потоком ГВ.

С уменьшением скорости потока обтекания ГВ начинает меняться кинематика ГВ, то есть меняется поступь ГВ в сторону уменьшения к швартовному режиму. Изменение относительной поступи ГВ (4) как кинематической характеристики приводит к рассогласованию совместной работы ГВ и ГД, и отсюда гидродинамические характеристики (ГДХ) ГВ изменяются. Изменение ГДХ с изменением нагрузки на ГВ нарушает динамическую связь ГД и ГВ.

В этом случае ГД будет переходить на режим работы с числом оборотов меньше эксплуатационных при полной мощности при имеющей место большой нагрузке ГД, обусловленной работой его на границе ограничительных характеристик по тепловой и механической напряженности.

Падение скорости судна, частоты оборотов ГД и ГВ соответственно будет продолжаться до тех пор, при условии соблюдения кинематической связи, пока ГВ и ГД не будут динамически согласованы (3), то есть $k_Q = k_Q^*$. Это значит, что пропульсивный комплекс выйдет на новый режим движения и мощность ГД, потребляемая и преобразуемая ГВ в силу упора, будет компенсировать сопротивление льда и водной среды корпусу судна.

3. Вопросы повышения эффективности пропульсивного комплекса

Из анализа (2) можно предположить, что 1-й член уравнения $\frac{TV_A}{2\pi n Q}$ изменяется незначительно в первоначальный момент изменения ледового сопротивления корпусу судна и представляет собой КПД ГВ в свободной воде η_0 . Второй член уравнения $\frac{(1-t)}{(1-W_T)} \frac{1}{i_Q}$ представляет собой КПД влияния корпуса η_H , где в знаменателе коэффициент попутного потока будет увеличиваться

с уменьшением скорости судна, тем самым уменьшая знаменатель, а в числителе с уменьшением величины относительной поступи ГВ коэффициент засасывания будет увеличиваться, уменьшая числитель. В общем случае 2-й член (2) будет уменьшаться, что приведет к уменьшению и пропульсивного КПД η_D . В свою очередь уменьшение η_D согласно (5) будет приводить к возможности увеличить мощность ГД P_s , что и было описано ранее. Из изложенного следует, что резерв повышения мощности пропульсивного комплекса заключается в повышении коэффициента влияния корпуса η_H .

Мы не рассматриваем специальные вопросы взаимодействия лопастей ГВ со льдом, что приводит к дополнительным нагрузкам на движители и возмущению всего пропульсивного комплекса (ПК). Это вопросы прочностных характеристик ПК, ГВ и подбора по мощности СЭУ. Все вышеизложенное общеизвестно и подтверждает выводы [1, с. 55–58] о том, что при ледовом плавании нужно говорить о ледовой эффективности пропульсивного комплекса, под которой понимается его способность обеспечивать требуемую тягу ГВ на всех рабочих режимах движения судна во льдах. Для этого необходимо в первую очередь сохранять частоту вращения ГВ, то есть его ГДХ, что обеспечит более устойчивое движение судна. **Высокая ледовая эффективность ПК при ледовом плавании обеспечивается поддержанием крутящего момента ГД на постоянном уровне.**

Сегодня проявляется большой интерес в публикациях к ледовому плаванию судов, где обсуждаются вопросы о взаимодействии ГВ со льдом, в том числе в режимах фрезерования. Сама постановка вопроса о необходимости исследований взаимодействия ГВ со льдом на имеющих место режимах не подвергается сомнению.

Однако, на наш взгляд, прослеживается тенденция, когда работы, посвященные повышению пропульсивных качеств судов с позиций судостроительных, то есть проектирования и строительства судов, пытаются перенести на проблемы повышения пропульсивных качеств судна с эксплуатационных позиций. На примере того же фрезерования льда ГВ, когда последний принимается за основной расчетный для определения и назначения прочностных размеров ПК, никак не может приниматься за эксплуатационный, так как это случайно временной режим работы ГВ. Опытный судоводитель мгновенно реагирует на ситуацию фрезерования, потому что знает, как реагировать, определив (косвенными методами, опытом, чутьем и пр.) причину, изменяет режим работы ГД или ВРШ и др. Опыт плавания во льдах показывает, что моменты фрезерования ГВ льда сопровождаются вибрацией всего корпуса, кратковременными ударными нагрузками, воспринимаемыми кормовой частью корпуса, с ГВ в насадке — потерей управляемости и др. Но эти моменты носят случайный характер. Наиболее часто эти моменты встречаются у судов портового плавания с ВРШ в поворотной насадке при подготовке акватории порта для проводки и швартовки судов. Это объясняется эксплуатационными характеристиками буксиров, например осадкой, скоростью, типом и сплоченностью льда, навыками судовождения и др. Эти же эксплуатационные характеристики танкера дедвейтом 45 тыс. т, со средней осадкой в балласте около 7 м практически сводят на нет этот эффект. Поэтому говорить о фрезеровании льда ГВ как о части эксплуатационного режима некорректно.

В связи с отмеченным нам представляется, что мы **недостаточно говорим сегодня о средствах повышения пропульсивных качеств судна с эксплуатационных позиций, то есть с позиций организационно-технических мероприятий.**

4. Пропульсивный комплекс с ВРШ и ДАУ СЭУ

Гребные винты регулируемого шага (ВРШ), как движители с высокими ГДХ, довольно широко используются на судах дедвейтом до 50 тыс. т, и уже не редкость, когда суда дедвейтом 75 тыс. т имеют ВРШ. Основная причина использования ВРШ — это постоянство мощности ГД и крутящего момента, когда противодействие моментам, в том числе и ледовым, осуществляется за счет уменьшения шага ВРШ. Считается, что с уменьшением шага ВРШ снижается величина его гидродинамического момента, при этом освободившийся резерв вращающего момента ГД проти-

водействует торможению ГВ при плавании судна в ледовых условиях, однако также это приводит к снижению упора ГВ. С другой стороны, уменьшение шага ВРШ влияет на скорость восстановления оборотов ВРШ в конце ледового взаимодействия.

Среднетоннажные танкерные суда дедвейтом 45–75 тыс. т в большинстве своем имеют систему дистанционного автоматического управления (ДАУ) СЭУ с двигателем ВРШ. В свою очередь система ДАУ предусматривает дистанционное автоматическое управление с ходового мостика и из ЦПУ машинного отделения. Управление с мостика осуществляется одной рукояткой, совмещенной с рукояткой машинного телеграфа. Система ДАУ в самом общем представлении — это электро-, пневмо-, гидромеханическая система, является следящей системой с программным управлением частотой вращения и с логическим управлением пуском, остановкой и реверсом ГД.

Она выполняет такие функции, как:

- 1) управление подачей топлива, включающей смешанный пуск;
- 2) повторение пуска, ограничиваемое по продолжительности реле времени;
- 3) сигнализацию о перегрузке двигателя и о работе в зоне критической частоты вращения;
- 4) установку и поддержание заданного режима работы ГД с плавным изменением и поддержанием устойчивой минимальной частоты вращения двигателя;
- 5) автоматическую регистрацию поданных команд.

При этом эксплуатация СЭУ на ходу и на стоянке может обеспечиваться одним человеком, или предусмотрено безвахтенное обслуживание. Сигнализация возможных неисправностей установлена в каютах механиков, на мостике, в кают-компании и столовой.

Опыт плавания на судах, оборудованных ДАУ с ВФШ, подтверждает опыт эксплуатации танкеров типа «Самотлор» ДВМП [2], где определены общие негативные причины, присущие ДАУ:

— после постройки система имела повышенный расход воздуха при пуске, что сказывалось на безопасности в условиях маневров и самостоятельного ледового плавания;

— количество пусков ГД при ручном управлении больше, чем при дистанционном. При ручном управлении резко повышалась надежность работы ГД, что способствовало качеству выполнения маневров;

— отмечалась самопроизвольная остановка ГД, были отказы клапанов пуска и реверса;

— установлено большое количество блокировочных устройств и видов защит на ГД, что приводило к его остановке в силу затрат времени на выяснение и устранение причин неисправностей;

— вспомогательные механизмы, обслуживающие ГД, дублируются, но при неисправности оборудования и переходе на резерв ГД сбрасывает обороты либо останавливается;

— неудовлетворительная воздухоподготовка, плохо отделяется масло и влага, на всей системе наблюдались подтеки масла;

— выход из строя тахометров ввиду слабого соединения с коленчатым валом ГД;

— отмеченные и другие недостатки послужили причиной отказа от использования ДАУ в ледовой обстановке и на маневрах не только на ТК «Самотлор». В середине 1980-х гг. в пароходствах и других компаниях действительно существовал приказ о запрещении использовать систему ДАУ при швартовных операциях, но не на маневренном режиме эксплуатации СЭУ при плавании в стесненных водах. Наоборот, при плавании проливами, при подходе к лоцманским станциям, при заходе в порты и так далее система ДАУ постоянно использовалась на ходовом и маневренном режимах из условий соблюдения безопасности мореплавания. Что касается швартовных операций, которые характеризуются особыми условиями организации работы экипажа, эксплуатации СЭУ и механизмов, использование системы ДАУ неприменимо. Известно, чем меньше связей, тем устойчивее система и выше ее надежность функционирования, поэтому машинный телеграф (МТ) — это прямая и обратная связь с мгновенно реагирующими и оценивающими профессиональными специалистами на мостике и в ЦПУ, принимающими грамотные и правильные решения в складывающейся ситуации, была и остается самым надежным инструментом капитана при швартовных операциях.

Анализируя вышеотмеченное с точки зрения инерционно-тормозных характеристик судна, следует отметить следующее. Время процесса активного торможения судна с ВРШ складывается из двух периодов: 1-й период — начало торможения, от начала подачи команды — от момента разворота лопасти, соответствующей режиму полного переднего хода, до положения, соответствующего отрицательному упору винта; 2-й период — активное торможение, от возникновения на лопастях отрицательного упора до остановки судна, то есть у судна с ВРШ исключается период инерционного выбега, который присущ судам с ВФШ. Время установки ручки ДАУ при совместном управлении осуществляется быстрее, чем при раздельном у судна с ВРШ. Этот факт немаловажен, поскольку значительно сокращается время первого периода торможения судна с ВРШ при совместной системе управления. Однако, как отмечалось ранее, в силу инерционности ДАУ время выполнения команды, например «ППХ–Стоп», на 15 % больше, чем при раздельном управлении, а время выполнения команды «ПСХ–Стоп» — на 40 % и более [3]. Поэтому раздельное управление, управление разворотом ВРШ при сохранении постоянной частоты вращения ГД, необходимо при быстром реагировании судна на команды судоводителя для увеличения или уменьшения скорости.

5. Использование ДАУ при ледовом плавании

В последние годы наблюдается определенный ажиотаж в организации ледового плавания в замерзающих морях страны. Проведем анализ и рассмотрим организацию управления СЭУ. Большинство заходящих современных судов — это суда с ВРШ. Управление ГД, и не только работающим на ВРШ, как известно, включает три основных положения. Это режим ДАУ, машинный телеграф (МТ) и местный (аварийный) с местного поста управления. Существующими нормативными документами управление СЭУ при плавании во льдах осуществляется в маневренном режиме, но есть еще морской режим. Из практики ледовой лоцманской проводки следует, что капитаны практически всех обслуживаемых судов при управлении СЭУ во льдах используют режим ДАУ — «комбинированный». Общеизвестно, что режим ДАУ используется: при нескольких постоянных частотах оборотов неререверсивного двигателя, устанавливая нужный ход разворотом лопасти (раздельное управление); и/или при комбинированном, когда изменение частоты оборотов ГД и разворот лопастей ВРШ происходят одновременно по заданной и воспринимаемой нагрузке СЭУ, в целях обеспечения экономичного расхода топлива (совместное управление); использование ВРШ на конструктивном шаге, как ВФШ. Как уже отмечалось ранее, **основное условие успешного ледового плавания и форсирования льда — это удержание заданных оборотов ГД.** С изменением оборотов мгновенно происходит изменение динамического равновесия упора винта и сопротивления судну. Поэтому поддержание частоты оборотов ГД — одно из важных условий незастревания судна во льдах, а при необходимости можно добавить обороты ГД до морского хода с падением скорости или снизить до маневренного (последнее несколько отличается, так как снижение оборотов происходит по «программе», при этом необходимо учитывать время выхода на маневренный режим ГД).

Но комбинированный режим ДАУ, работающий на совместное изменение частоты оборотов и разворота лопастей винта на постоянную нагрузку, имеет большую временную задержку, как для разгона, так и, что опаснее всего, для остановки судна. В практике плавания в караване за ледоколом при следовании в порт погрузки уже имеются случаи, когда, например, замыкающий в караване танкер навалил на корму танкера, следующего за ледоколом с «ледовым лоцманом» на борту. Аналогичный случай — когда танкер с «ледовым лоцманом» на борту навалил на корму впереди идущему и застрявшему ледоколу. Анализ инцидентов определил причину — влияние «человеческого фактора», это не предовалось публичной огласке ввиду несущественных повреждений. Разбор по организации и методам управления СЭУ при ледовом плавании не проводился, поскольку на мостике в обоих случаях присутствовали профессионалы.

Практика показывает, что при необходимости сбросить обороты и уменьшить ход судна при застревании впереди идущего судна, ледокола быстро не получается. По сравнению с режимом МТ при комбинированном режиме управления ДАУ отработка по времени занимает в 1,5 раза

меньше времени. Инерционность ДАУ приводит к тому, что увеличение оборотов ГД в силу падения скорости происходит медленно по сравнению с режимом МТ и судно застревает во льду. Или наоборот, когда необходимо срочно сбросить обороты ГД, с более быстрым переводом рукоятки ДАУ, падение оборотов происходит медленнее, чем при режиме управления МТ, и судно может навалиться.

Иногда вызывает вопросы профессионализм «ледоколыщиков». Так, застревание ледокола (на первый взгляд нонсенс) возможно либо при очень сильной торосистости льдов, либо при отсутствии запаса мощности СЭУ в нужный момент. Последнее возможно в силу того, что проводку ледокол осуществляет на мощностях, соответствующих данному, практически установившемуся сопротивлению корпуса по толщине и торосистости льда. Судоводитель, полагаясь на ледовый прогноз, не предполагает наличия впереди мощной сплоченности льдов, и проводка происходит без наличия запаса мощности СЭУ. Без анализа по времени получения ледовых карт, смены направления и силы ветра, течений, возможного дрейфа льда, направления предполагаемой оси сжатия и прочего может случиться, что ледокол потребует от идущих в караване судов немедленно прекратить движение в силу потери своей скорости. Можно спрогнозировать такую ситуацию, когда танкер с осадкой 13 м длиной 230 м в дистанции около 10 кбт, идущий в режиме ДАУ «комбинированный», даже со скоростью 5 узлов не сможет остановить судно на безопасной дистанции и может совершить навал. В этих случаях эффективным является уход из ледового канала с перекладкой руля на борт. Однако если скорость и торосистость льда значительны, то возможен риск повреждения корпуса и/или винторулевой группы. При большем количестве судов в караване вероятность навала увеличивается.

При плавании за ледоколом, который выбирает курс вдоль линии сжатия, может возникать другая ситуация. В этом случае проводка будет сопровождаться удержанием минимальной дистанции между судами и ледоколом. С увеличением дистанции канал за ледоколом быстро закрывается и судно, несмотря на увеличение частоты оборотов ГД, теряет скорость вплоть до остановки, поэтому ледокол вынужден сбавлять ход и уменьшать ранее установленную дистанцию. В такой ситуации при режиме ДАУ «комбинированный», в силу резкого уменьшения сопротивления корпусу судна с сокращением дистанции ледоколом, набор мощности и скорости судна будет происходить быстрее, чем набор скорости ледоколом в сплошном льду, и если у последнего нет еще и запаса мощности, тогда последствия также могут быть плачевными. Несвоевременное увеличение запаса мощности у ледокола — это также временной фактор, негативно сказывающийся на безопасности мореплавания (БМ).

В целях незастревания во льдах ледокол прокладывает курс, огибая сплоченные торосистые места и повороты иногда почти под углом в 90°. В этих случаях вероятность застревания проводимого судна, превышающего длину ледокола в два и более раз, еще больше увеличивается. Если лед хотя бы с одного борта слабый, застревания может и не быть. Но если с бортов тугой торосистый лед, то появляется вероятность повреждения винторулевого комплекса, а корпус будет испытывать значительные поперечные изгибающие моменты. Если смоделировать такую ситуацию застревания даже на малых ходах, при плавании в паковых льдах, то можно спрогнозировать состояние корпуса, например танкера дедвейтом в 100 тыс. т. Инерция танкера настолько велика, что можно предположить разные последствия вероятной аварии. Поэтому плавание в караване за ледоколом требует как высокой организации в управлении судном, так и понимания складывающейся ситуации при совместном плавании, мгновенного анализа и принятия правильного решения во избежание инцидентов. Для этого нужно быть не просто исполняющим судоводителем, а думающим. К сожалению, сегодня на мостике чаще встречаются исполняющие, а не думающие судоводители. Можно предположить, что сегодня идет смена поколений капитанов, подготовленных и выросших на требованиях МК ПДНВ-78 и ПДНВ-78/95. Быть может, отчасти и эта проблема имеет место, но мы лишь предполагаем, так как каких-либо работ в этом направлении не ведется.

Из отмеченного следует, что при ледовом плавании первостепенное значение приобретает *ледовая эффективность* пропульсивного комплекса, а не ГДХ совместной работы ГД и ГВ на чис-

той воде. И здесь огромную роль играет профессионализм капитана в обеспечении безопасного плавания.

6. Заключение

Исходя из вышеотмеченного, можно сказать, что в процессе проводки судна за ледоколом важным фактором обеспечения БМ является временной фактор — с момента изменения режима движения судна по МТ или ДАУ и до момента начала изменения частоты вращения ГД, а также времени изменения частоты вращения ГД. В одном случае это выбор режима управления СЭУ при плавании во льдах МТ или ДАУ, во втором — запас мощности СЭУ ледокола. Но можно сказать, что оба они должны быть зафиксированы в нормативной документации при плавании во льдах. Сегодня нет рекомендаций, предписывающих, *как* управлять СЭУ при плавании во льдах. Есть прописные истины, *что* надо делать, но это *что* можно осуществлять разными способами, и для плавания во льдах самый оптимальный режим управления СЭУ — *как* делать, не прописан. Капитан выбирает удобный ему режим в управлении судном на чистой воде, но небезопасный при плавании во льдах. Выбор обосновывается принятой практикой в данной компании и ссылками на распоряжения технических менеджеров и пр.

Сегодня судоводитель, не задумываясь о повышении качества пропульсивного комплекса на эксплуатационных режимах при ледовом плавании, использует организационно-технические мероприятия при плавании на чистой воде, ссылаясь на принятую практику в компании. Здесь возникает вопрос по организации и поддержанию безопасности мореплавания в компании, требуемыми международными и национальными нормами. Отсутствие какой-либо обоснованной научно-исследовательской нормативной базы позволяет компании в соответствии с МКУБ устанавливать и принимать свои «правила», которые зачастую конфликтуют с практическим опытом ледового плавания в замерзающих морях. Необходима квалифицированная подготовка морских специалистов в морских учебных заведениях и УТЦ по условиям и организации ледового плавания с позиций повышения качества работы пропульсивного комплекса.

Также из отмеченного следует необходимость разработки специальной процедуры по организации безопасного ледового плавания судна с включением организационно-технических мероприятий. Существующие на судах Ледовые паспорта, разработанные отраслевыми НИИ, к сожалению, не содержат таких процедур. Однако Руководство для судов, плавающих в полярных водах Арктики, требует, чтобы:

— все суда, эксплуатирующиеся в полярных водах, имели на борту документ о соответствии, руководство по эксплуатации, руководство по тренировке экипажа, действующие утвержденные сертификаты ледовых лоцманов;

— судно не должно преднамеренно эксплуатироваться в условиях худших, чем это запланировано и предусмотрено ограничениями его конструкции;

— применительно к судам полярного класса руководство по эксплуатации должно включать дополнительно сведения, включенные администрацией, такие как:

1) управление рисками;

2) отклонения от стандартных процедур эксплуатации, связанные с функционированием систем ГД и вспомогательных механизмов систем дистанционного управления и сигнализации и электронных и электрических систем при плавании судов в полярных водах;

3) и другие, то есть наличие такой процедуры подтверждается международным документом, и здесь большое поле деятельности для отраслевых ЦНИИ.

Необходимы дальнейшие скоординированные работы НИИ по изучению ледового покрова арктических и внутренних морей в целях прогнозирования количественного и качественного состояния ледяного покрова, морфологических и физико-механических характеристик. Как показывают многолетние наблюдения, например, припай в Кандалакшском заливе, более похожий раньше на арктический лед, сегодня более схож со льдом Балтийского моря. А как сегодня изменился Балтийский лед за 10–15-летний период, и кто может подтвердить изменение из личного опыта ледового плавания?

Из изложенного можно заключить, что при фазовом изменении состояния элемента «море» в системе «человек–судно–море» при ледовом плавании первостепенное значение приобретает *ледовая эффективность* пропульсивного комплекса, а не ГДХ совместной работы ГД и ГВ на чистой воде. При этом встает еще одна проблема в обеспечении безопасности ледового плавания — это *повышение пропульсивных качеств судна с эксплуатационных позиций, то есть с позиций организационно-технических мероприятий*, что, по нашему мнению, может быть решено на базе научных исследований путем разработки и внедрения процедур по организации ледового плавания, а также квалифицированной подготовкой моряков и личным опытом работы.

Список литературы

1. *Ионов Б. П.* Анализ работы современных пропульсивных комплексов ледокольных судов / Б. П. Ионов, А. Беляшов // Морской вестник. Морская техника и технологии. — 2002. — № 3 (3).
2. *Подвольский Н. М.* Опыт эксплуатации танкеров ледового плавания / Н. М. Подвольский. — СПб.: РМРС, 2004. — 271 с.
3. Теория и устройство судов: учебник / Ф. М. Кацман [и др.]. — Л.: Судостроение, 1991. — 416 с., ил.

ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 629.12.002.8

И. Б. Гредасова,

канд. техн. наук,

ФБОУ ВПО «Волжская государственная
академия водного транспорта»

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ СУДОВ

THE ANALYSIS OF REQUIREMENTS ON SAFE RECYCLING OF SHIPS

Проанализирована международная нормативная база, затрагивающая вопросы безопасности при утилизации судов.

The international standard base mentioning safety issues at recycling of ships is analysed.

Ключевые слова: утилизация судов, экологическая безопасность.

Key words: recycling of ships, ecological safety.

ЕЖЕГОДНО во всем мире демонтируется и утилизируется около 600 списанных судов валовым тоннажем (ВТ) в 500 т и выше. Нынешний экономический спад заметно активизировал бизнес, связанный с демонтажом судов. Предполагается, что в индустрии демонтажа судов будет наблюдаться даже еще больший рост с учетом предстоящего списания нефтяных танкеров с одинарным корпусом, что в следующее десятилетие приведет к демонтажу тысяч судов.

В настоящее время разрабатывается международная нормативная база с целью решения нарастающих проблем в связи с неудовлетворительной организацией работ и негативным воздействием на окружающую среду индустрии по демонтажу судов. Несколько организаций и структур вносят вклад в создание этого стремительно развивающегося комплекса норм и руководящих принципов, включая Конференцию сторон Базельской конвенции, Международную морскую организацию (ИМО) и Международную организацию труда (МОТ). Усилия международного сообщества по решению проблем демонтажа судов привели к принятию 15 мая 2009 г. Гонконгской международной конвенции о безопасной и экологически рациональной утилизации судов.

Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением является главной правовой основой защиты здоровья людей и окружающей среды от неблагоприятного воздействия производства, использования, трансграничной перевозки и удаления опасных и иных отходов. Конвенция, принятая в 1989 г. и вступившая в силу в 1992 г., ратифицирована 172 государствами, включая основные страны, занимающиеся демонтажом судов.

Россия ратифицировала конвенцию — Федеральный закон от 4 ноября 1993 г. № 1118-ФЗ. Конвенция вступила в силу 19 апреля 2000 г.

Конвенция основана на двух основных компонентах:

а) во-первых, она устанавливает процедуру «предварительного обоснованного согласия» (ПОС) в отношении трансграничной перевозки отходов между сторонами (ст. 4.1 и 6), в соответствии с которой трансграничная перевозка опасных или иных отходов может производиться только с предварительного письменного уведомления компетентных органов государств экспорта, импорта и транзита и с согласия этих органов на перевозку соответствующих отходов.

б) во-вторых, в Конвенции закрепляется принцип «экологически обоснованного использования» (ЭОИ), который требует принятия всех практических мер для того, чтобы опасные или

иные отходы использовались таким образом, чтобы здоровье человека и окружающей среды защищались от возможного неблагоприятного воздействия таких отходов (ст. 2.8).

Вопрос о демонтаже судов стоит на повестке дня Базельской конвенции с конца 1990-х гг., когда дела, связанные с демонтажом судов в некоторых развивающихся странах, были доведены до сведения секретариата. В то время широкое признание получила мысль о том, что, поскольку Базельская конвенция не была разработана с учетом вопроса о демонтаже судов, существует некоторая практическая и юридическая неопределенность в плане ее распространения на суда, направляемые на утилизацию. Эта неопределенность сохраняется и сегодня. Первый ее аспект связан с идентификацией компетентного экспортного органа (государство флага или государство порта?) и с тем, как обязанности компетентных органов можно включить в систему контроля государства флага или государства порта. Другая трудность связана с тем, можно ли классифицировать соответствующее судно как отходы и в какое время его можно считать отходами. В этом отношении на VII совещании Конференции сторон Базельской конвенции отмечалось, что «судно может стать отходами по определению, содержащемуся в ст. 2 Базельской конвенции, и что в то же самое время оно может считаться судном по другим международным нормам» [1]. Это значит, что судно, имеющее асбест, полихлорированные дифенилы или другие опасные отходы, может считаться опасным «отходом», когда оно направляется на утилизацию или удаление. Тем не менее одновременное применение различных правовых документов может создавать лазейки, которые могут быть использованы судовладельцами с целью обхода положений Базельской конвенции. Кроме того, решение об утилизации часто применяется в то время, когда судно находится в открытом море, что затрудняет идентификацию соответствующего компетентного органа и порядок применения Конвенции. Также возникает ситуация, когда суда могут менять флаги до своего демонтажа, что создает возможность уклонения от контроля, установленного Конвенцией.

Признавая трудности применения Базельской конвенции по отношению к судам, направляемым на демонтаж, стороны и секретариат Базельской конвенции провели переговоры, которые привели к принятию юридически обязательного документа об утилизации судов под эгидой ИМО. Стороны хотят добиться того, чтобы новая Гонконгская международная конвенция о безопасной и экологически рациональной утилизации судов установила уровень контроля, который бы соответствовал предусмотренному в Базельской конвенции [2]. Предварительная оценка такого соответствия была проведена на VII сессии Рабочей группы открытого состава Базельской конвенции в мае 2010 г. Результаты были препровождены X совещанию Конференции сторон, которое прошло в октябре 2011 г., когда, как предполагалось, была проведена окончательная оценка соответствия и было принято соответствующее решение: если стороны установят, что требования соответствия выполнены, то они рассмотрят варианты исключения судов, на которые распространяется новый международный режим, из сферы действия Базельской конвенции.

В настоящее время действуют две конвенции ИМО, хотя и не касающиеся напрямую вопроса о демонтаже судов, они содержат принципы, которые распространяются на случаи загрязнения морской среды в результате сброса отходов в море: Конвенция 1972 г. по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов (обычно называется Лондонской конвенцией) и Протокол к ней 1996 г., а также Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ 73/78).

Основной целью Лондонской конвенции является предотвращение загрязнения моря отходами и другими сбрасываемыми материалами, которые могут представлять опасность для здоровья людей или повредить живым ресурсам и жизни в море (ст. I). Конвенция запрещает сброс определенных опасных материалов, перечисленных в приложении I, требует наличия предварительного специального разрешения на сброс ряда других конкретных материалов, перечисленных в приложении II, и предварительного общего разрешения на сброс всех других отходов или материалов (ст. IV.1) [3].

МАРПОЛ 73/78 является основной международной конвенцией по предотвращению загрязнения морской окружающей среды судами, вызываемого функциональными или случайными

причинами. Она представляет собой сочетание двух договоров, принятых соответственно в 1973 и 1978 гг. и обновленных поправками, принимавшимися на протяжении ряда лет. Конвенция призвана положить конец намеренному загрязнению морской среды нефтью и другими вредными веществами и свести к минимуму аварийные сбросы. Подробные правила, касающиеся загрязнения с судов, изложены в шести приложениях к Конвенции. Все основные страны демонтажа судов являются участницами МАРПОЛ 73/78. Как и в случае с Лондонской конвенцией, неясно, распространяется ли МАРПОЛ на сбросы со списанных судов. С теоретической точки зрения она может распространяться на демонтаж судов, осуществляемый в территориальных водах страны демонтажа судов, и поэтому всякий сброс нефти и нефтяных смесей будет запрещен. Такие нефтяные смеси должны оставаться на борту или сбрасываться на приемных сооружениях в порту. Со своей стороны государства будут обязаны обеспечить наличие необходимых приемных сооружений для таких нефтяных отходов.

Значительное число конвенций МОТ, касающихся безопасности на производстве, опасности для здоровья и защиты рабочих, может применяться по отношению к деятельности по демонтажу судов.

К ним относятся:

— Конвенция о свободе объединений и защите права объединяться в профсоюзы (Конвенция № 87);

— Конвенция о применении принципов права на объединение в профсоюзы и на ведение коллективных переговоров (Конвенция № 98);

— Конвенция о максимальном грузе, допустимом для переноски одним работником (Конвенция № 127);

— Конвенция о борьбе с опасностью, вызываемой канцерогенными веществами и агентами в производственных условиях, и профилактике (Конвенция № 139);

— Конвенция о защите работников от профессионального риска, вызываемого загрязнением воздуха, шумом и вибрацией на рабочих местах (Конвенция № 148);

— Конвенция о безопасности и гигиене труда и производственной среде (Конвенция № 155);

— Конвенция об охране труда при использовании асбеста (Конвенция № 162);

— Конвенция о безопасности при пользовании химических веществ на производстве (Конвенция № 170).

В декабре 2005 г. Ассамблея ИМО попросила Комитет по защите морской среды разработать новый, имеющий обязательную юридическую силу документ об утилизации судов, в котором были бы предусмотрены правила:

а) проектировки, постройки, эксплуатации и подготовки судов, с тем чтобы способствовать безопасной и экологически рациональной утилизации;

б) безопасной и экологически рациональной эксплуатации предприятий по утилизации судов;

в) создания соответствующего механизма обеспечения выполнения требований в отношении утилизации судов, включая требования о выдаче свидетельств и передаче сообщений (Резолюция А.981(24)).

После четырех лет переговоров на Международной конференции по безопасной и экологически рациональной утилизации судов, проходившей в Гонконге (Китай) с 11 по 15 мая 2009 г., была принята Гонконгская международная конвенция о безопасной и экологически рациональной утилизации судов.

Конвенция устанавливает конкретные требования в отношении эксплуатации судов с учетом их утилизации после списания. Стороны Конвенции обязаны запрещать и/или ограничивать размещение или использование опасных материалов, перечисленных в приложении 1 [4] (асбест, озоноразрушающие вещества, полихлорированные бифенилы (ПХБ) и составы и системы, предохраняющие от обрастания), на судах, несущих их флаг, либо эксплуатируемых под их властью. Все

суда (как новые, так и эксплуатируемые) должны иметь на борту перечень опасных материалов, который должен обновляться на протяжении периода эксплуатации судна. Этот перечень должен касаться конкретно каждого судна и содержать в части I информацию об опасных материалах, содержащихся в конструкции или оборудовании судна. Часть I перечня должна надлежащим образом заполняться и обновляться на протяжении срока периода эксплуатации судна. До утилизации в этот перечень должны быть включены часть II, касающаяся отходов, выработанных за время эксплуатации, и часть III, касающаяся запасов.

Страны утилизации обязаны обеспечивать, чтобы действующие под их юрисдикцией предприятия по утилизации судов имели разрешение в соответствии с положениями приложения к Конвенции.

Суда могут быть демонтированы только на предприятиях по утилизации судов, которые:

- а) имеют разрешение в соответствии с Конвенцией;
- б) полностью уполномочены осуществлять все виды деятельности по утилизации судов, указанные в плане утилизации судна.

Направляемое на утилизацию судно должно быть сертифицировано как готовое к утилизации компетентным органом государства флага, прежде чем может проводиться какая-либо деятельность по утилизации.

В настоящее время ИМО разрабатывает комплекс добровольных руководящих принципов с целью обеспечения эффективного осуществления Конвенции. Эти руководящие принципы будут распространяться на такие аспекты, как составление перечня опасных материалов, лицензирование предприятий по утилизации судов, разработка плана утилизации судна, а также безопасная и экологически рациональная утилизация судов.

Конвенция вступит в силу через 24 месяца после того, как 15 государств, представляющих собой 40 % мирового торгового флота по валовой вместимости, либо подпишут ее без оговорок в отношении ратификации, принятия или одобрения, либо передадут Генеральному секретарю документы о ратификации, принятии, одобрении или присоединении. Общий максимальный годовой объем утилизации судов этих государств должен в течение 10 предшествующих лет составлять не менее 3 % от общей валовой вместимости их торговых флотов. Нынешние расчеты указывают на то, что в силу этих жестких требований 2013 г. является самым ранним возможным сроком вступления Конвенции в силу.

Таким образом, принятие Гонконгской международной конвенции о безопасной и экологически рациональной утилизации судов — это шаг в сторону создания имеющего юридическую силу нормативного режима, позволяющего добиться того, чтобы списываемые суда не создавали ненужных рисков для здоровья и безопасности людей и для окружающей среды при демонтаже.

На промежуточном этапе, до вступления Конвенции в силу, России, как государству, осуществляющему демонтаж судов, отправляющему суда под своим флагом на утилизацию в другие страны, необходимо изучить возможность соблюдения технических требований Конвенции, а также существующих руководящих принципов и стандартов.

Список литературы

1. Решение VII/26 Конференции сторон Базельской конвенции.
2. Решения VII/26, VIII/11 и IX/30 Конференции сторон Базельской конвенции.
3. Конвенция по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов 1972 г.
4. Резолюция A.981(24). Руководство по разработке Ведомости опасных материалов.

УДК 628.511.001.57:656.62.073.28:689.46

Д. Н. Костюничев,
канд. техн. наук, доцент,
ФБОУ ВПО «Волжская государственная
академия водного транспорта»;

С. Н. Кузьменко,
аспирант,
ФБОУ ВПО «Волжская государственная
академия водного транспорта»

ОЦЕНКА НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТКРЫТЫХ СКЛАДОВ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

ESTIMATION OF NEGATIVE EFFECT OF OPEN STORAGES FOR BULK CARGO FOR THE ENVIRONMENT

Статья посвящена обоснованию параметров портовых открытых складов с учетом экологических ограничений по запыленности воздуха и размеров потерь груза от пылеуноса.

The article is devoted to the justification of the parameters of the port open storages, taking into account environmental constraints for the dust level and loss of cargo from flue dust escape.

Ключевые слова: порт, открытый склад, потери груза, сыпучий груз, пылеунос.

Key words: port, open warehouse, the loss of cargo, bulk cargo, flue dust escape.

С ОЗДАНИЕ и эксплуатация любого технологического объекта, в том числе порта или грузового причала, предусматривает проведение оценки их воздействия на окружающую среду и развития объекта в пределах условного (оптимального) уровня загрязнения.

Опыт эксплуатации морских и речных портов показывает, как много возникает проблем, связанных с пылеобразованием и пылеуносом, при перегрузке навалом и хранении сыпучих грузов на открытых складах. На (рис. 1) представлены очаги пылеобразования грузового причала порта при перегрузке и хранении сыпучего груза.

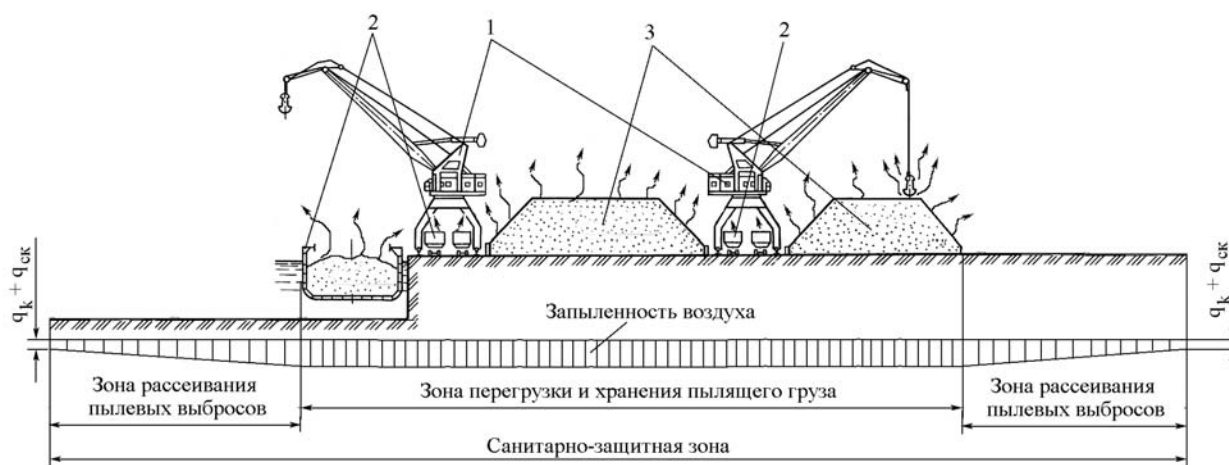


Рис. 1. Очаги пылеобразования грузового причала порта при перегрузке и хранении сыпучего груза:

1 — перегрузочное оборудование; 2 — транспортные средства;

3 — открытые склады

Величины запыленности и потерь груза при применении различных типов перегрузочного оборудования и открытом хранении сыпучих грузов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Величины запыленности воздуха и потерь груза при различных способах перегрузки и открытом хранения сыпучих грузов

Способ перегрузки и хранения	Запыленность воздуха, мг/м ³	Превышение предельно допустимых концентраций, раз	Потери груза, %
Грейферными кранами и перегружателями	420...9000	70...1500	1...3
Конвейерными установками	до 2000	до 330	0,1...0,5
Пневмоустановками	150...2000	25...330	0,1...0,3
Открытый трюм судна	75...300	10...50	—
Полувагон	до 18 000	до 3000	—
Открытые склады	до 500	до 90	1...7

Из данных табл. 1 следует, что самую значимую долю в величину запыленности воздуха и размера потерь груза от пылеуноса вносят открытые портовые склады.

В настоящее время традиционно используемое понятие «экономическая эффективность» хозяйственного решения, основанное на критерии приведенных затрат, трансформировалось в понятие «эколого-экономическая эффективность». Критерий эколого-экономической эффективности определяется отношением суммарного эколого-экономического эффекта к затратам живого и овеществленного труда и природы, тогда как критерий экономической эффективности общественного производства определяется отношением суммарного эффекта только к затратам живого и овеществленного труда [1; 2].

В предлагаемой методике обоснования параметров открытых складов для сыпучих грузов учитываются как экологические требования, а именно соблюдение установленных предельно допустимых концентраций (ПДК) пыли груза, хранящегося на открытом складе, так и экономические затраты на потери сыпучих грузов в результате их пылеуноса при ветровом воздействии на штабель открытого склада.

Условие выполнения экологических ограничений по качеству воздушной среды для грузового причала порта, на котором перегружается и хранится сыпучий пылящий груз, можно представить в следующем виде:

$$q_{\text{ск.}} \leq (\text{ПДК} - C_{\text{ф}}) - (q_{\text{пер.об.}} + q_{\text{тр.ср.}}), \quad (1)$$

где $q_{\text{ск.}}$ — запыленность воздуха в результате пылеуноса груза при воздействии ветровых потоков на штабель открытого склада на границе санитарно-защитной зоны, мг/м³;

ПДК — максимально разовая предельно допустимая концентрация пыли на границе санитарно-защитной зоны, мг/м³;

$C_{\text{ф}}$ — фоновая концентрация пыли на границе санитарно-защитной зоны, мг/м³;

$q_{\text{пер.об.}}$ — запыленность воздуха на границе санитарно-защитной зоны при работе перегрузочного оборудования, мг/м³;

$q_{\text{тр.ср.}}$ — запыленность воздуха на границе санитарно-защитной зоны в результате пылеуноса груза при открытых трюмах судов и полувагонах, мг/м³.

Если условие (1) не выполняется, то необходимо:

1) исключить открытый склад из технологической схемы перегрузки сыпучего пылящего груза, перегружая его по прямому варианту;

2) применить закрытый склад;

3) уменьшить вместимость и линейные размеры открытого склада до значений, при которых величина запыленности позволит выполнить условие (1);

4) не изменяя вместимости и линейных размеров открытого склада, применить технические средства борьбы с пылеуносом, обеспечивающие снижение запыленности воздуха до значений, при которых будет выполняться условие (1);

5) уменьшить вместимость и линейные размеры открытого склада с применением технических средств борьбы с пылеуносом, что позволит выполнить условие (1).

Так как в задачи настоящих исследований входит только обоснование параметров открытых складов, то первые два варианта не рассматривались.

Спрогнозировать запыленность воздуха от пылеуноса груза при воздействии ветровых потоков на штабель открытого склада и соответствующие величины потерь от пылеуноса позволяет разработанный авторами метод оценки на моделях процессов пылеуноса и пылеобразования при перегрузке и хранении сыпучих грузов в портах [3, с. 128–132; 4, с. 30–33; 5, с. 90–91]. На основе указанного метода оценки разработана методика обоснования параметров открытых складов для сыпучих грузов, которая включает:

- анализ разрабатываемой технологии перегрузочного процесса и открытого способа хранения сыпучего материала;
- построение моделей открытых складов;
- построение физических моделей процессов пылеобразования и пылеуноса сыпучего груза при его хранения на открытых складах;
- модельные исследования процессов пылеобразования и пылеуноса с учетом реальных значений скоростей и направлений ветровых потоков, которые имеют место на территории порта или причала, где осуществляется хранение сыпучего груза;
- определение потерь сыпучих грузов и состояния воздушной среды (запыленности воздуха) по результатам модельных исследований для натурного открытого склада.

При анализе разрабатываемой технологии перегрузочного процесса и хранения сыпучего груза определяются:

- физико-механические и эксплуатационные характеристики груза;
- величины грузооборотов по прибытию и отправлению, значения коэффициента прохождения груза через склад;
- тип перегрузочных машин, включенных в перегрузочную линию, их производительности и характеристики, тип грузозахватных устройств;
- функции открытых складов (оперативный или накопительный склад), предварительные вместимость и размеры (длина, ширина, высота) штабелей открытых складов по месяцам навигационного и межнавигационного периодов и форма поперечного сечения штабеля (призма,obelisk);
- величины преобладающих скоростей и направлений ветровых потоков по месяцам навигационного и межнавигационного периодов, где планируется расположить или располагается порт или грузовой причал.

Построение моделей открытых складов и модельные исследования процессов пылеобразования и пылеуноса осуществляются в следующей последовательности:

- сначала строится модель склада желаемой вместимости, определенной при анализе разрабатываемой технологии перегрузочного процесса и хранения сыпучего груза, и проводятся модельные исследования запыленности воздуха с целью определения выполнения условия (1);
- если для данной модели склада условие (1) не выполняется, то проводятся исследования по запыленности воздуха для данной модели с применением технических средств борьбы с пылеуносом или подбираются такие параметры модели открытого склада, при которых вышеуказанное условие выполняется. Далее определяется размер потерь от пылеуноса груза.

Потери груза $M_{\text{ск}}(t)$ в результате пылеуноса при их хранении на открытых складах следует определять по формуле

$$M_{\text{ск}} = \sum_{i=1}^n M_{\text{ск}_i} \cdot S_{\text{ск}_i} \cdot t_{\text{хр}_i} + \sum_{g=1}^{12-n} M_{\text{ск}_g} \cdot S_{\text{ск}_g} \cdot t_{\text{хр}_g}, \quad (2)$$

где $M_{\text{ск}_i}$ — количество груза, унесенного с одного квадратного метра поверхности штабеля за i -й месяц навигационного периода ($i = 1, 2, 3, \dots, n$), т/м²сут;

$S_{\text{ск}_i}$ — площадь поверхности штабеля склада в i -й месяц навигационного периода, м²;

$t_{\text{хр}_i}, t_{\text{хр}_g}$ — время хранения груза на складе соответственно в i -й месяц навигационного и g -й месяц межнавигационного периодов, сут;

$M_{\text{ск}_g}$ — количество груза, унесенного с одного квадратного метра поверхности штабеля за g -й месяц межнавигационного периода ($g = 1, 2, 3, \dots, 12 - n$), т/м²сут.

Площадь поверхности штабеля натурального открытого склада будет зависеть от количества груза, находящегося на складе. При этом очень важно знать, какую функцию выполняет склад в порту или на причале.

Для определения функции склада необходимо знать соотношение количества $G_{\text{ск.м}_i}^3$ (т) завозимого груза на склад и количества $G_{\text{ск.м}_i}^B$ (т) вывозимого груза со склада по месяцам, то есть

$$G_{\text{ск.м}_i}^3 \leq G_{\text{ск.м}_i}^B, \quad (3)$$

$$G_{\text{ск.м}_i}^3 > G_{\text{ск.м}_i}^B. \quad (4)$$

Если выполняется условие (3), то склад выполняет оперативную функцию (оперативный склад) и служит только для исключения простоя различных видов транспортных средств из-за несоответствия поступления их в порт.

При выполнении условия (4) склад будет выполнять как оперативную, так и накопительную функцию (накопительный склад).

Определение площади поверхности штабеля оперативного склада.

Схема формирования штабеля оперативного склада представлена на рис. 2.

Количество $G_{\text{ск.м}_i}^3$ (т) груза, завезенное на склад в i -й месяц навигационного периода, определяется по формуле

$$G_{\text{ск.м}_i}^3 = \frac{30 \cdot \alpha \cdot Q_{\text{н.п.}}}{T_{\text{н}}}, \quad (5)$$

где α — коэффициент прохождения груза через склад;

$Q_{\text{н.п.}}$ — навигационный грузооборот, т;

$T_{\text{н}}$ — продолжительность навигационного периода, сут.

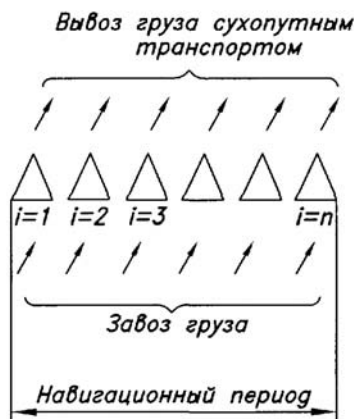


Рис. 2. Схема формирования штабеля оперативного склада

Согласно выражению (5) количество $G_{\text{ск.м}_i}^B$ груза, вывозимое с оперативного склада в i -й месяц навигационного периода, равно $G_{\text{ск.м}_i}^3$.

Очевидно, что количество груза на оперативном складе в течение месяца будет изменяться от 0 до $G_{ск.м_i}^3$. Поэтому при определении потерь груза в результате пылеуноса из штабеля склада принимаем среднюю величину $G_{ск.м_i}$ количества груза на складе в i -й месяц навигационного периода, то есть

$$G_{ск.м_i} = 0,5 \cdot G_{ск.м_i}^3. \quad (6)$$

Кроме этого, считаем, что количества груза на оперативном складе по месяцам навигационного периода будут равны между собой:

$$G_{ск.м_1} = G_{ск.м_2} = G_{ск.м_3} = \dots = G_{ск.м_n}. \quad (7)$$

Зная количество груза, находящееся на оперативном складе по месяцам, определяются геометрические характеристики штабеля открытого склада с учетом технических характеристик перегрузочных машин (величина максимального вылета крана или отвалообразователя и т. д.) и характеристик причала (длина, ширина, допустимая нагрузка на 1 м² площади).

Определение площади поверхности штабеля накопительного открытого склада.

Накопительные склады могут формироваться при освоении портом или причалом грузооборотов по прибытию или отправлению грузов.

Под грузооборотом по прибытию понимается количество груза в тоннах, поступающее в порт или на причал в судах, а под грузооборотом по отправлению — количество груза в тоннах, отправленное портом или причалом в судах.

На рис. 3 представлена схема формирования накопительного склада при освоении грузооборота по прибытию.

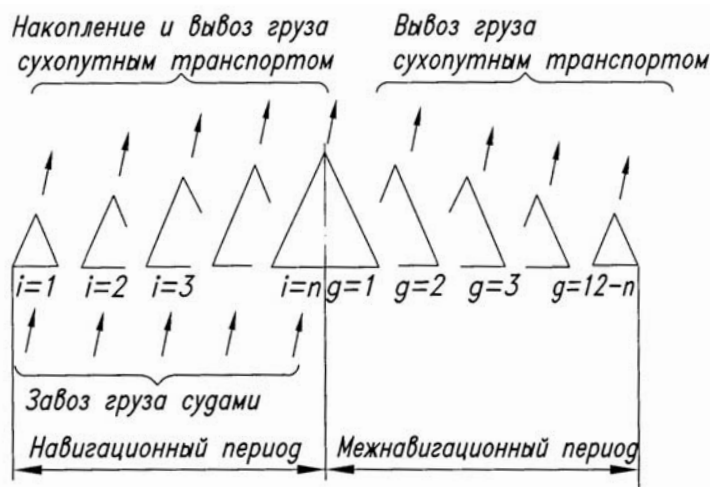


Рис. 3. Схема формирования накопительного склада при освоении грузопотока по прибытию

При освоении грузопотока $Q_{н.п.}^{np}$ по прибытию количество $G_{ск.м_i}$ (т) груза на накопительном складе в i -й месяц навигационного периода определяется по формуле

$$G_{ск.м_i} = i \cdot Q_{н.п.}^{np} \cdot \left(\frac{365 - T_n}{12 \cdot T_n} \right). \quad (8)$$

Количество $G_{ск.м_g}$ (т) груза на накопительном складе в g -й месяц межнавигационного периода определяется по формуле

$$G_{ск.м_g} = n \cdot Q_{н.п.}^{np} \cdot \left(\frac{365 - T_n}{12 \cdot T_n} \right) - \frac{g \cdot Q_{н.п.}^{np}}{12}, \quad (9)$$

где g — порядковый номер месяца межнавигационного периода, $g = 1, 2, 3, \dots, (12 - n)$.

На рис. 4 представлена схема формирования накопительного склада при освоении грузопотока по отправлению.

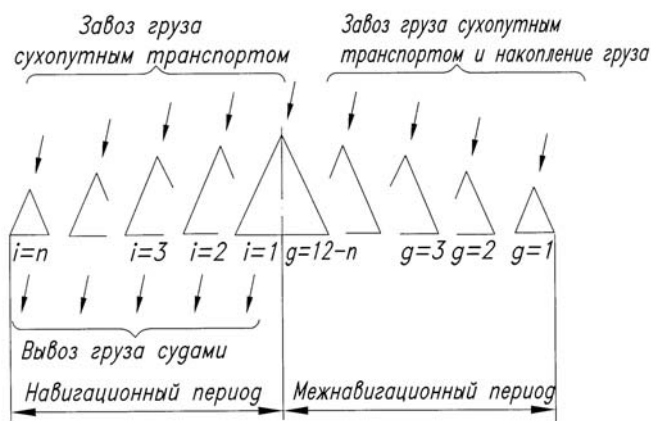


Рис. 4. Схема формирования накопительного склада при освоении грузопотока по отправлению

При освоении грузопотока $Q_{н.п.}^{от}$ по отправлению количество $G_{ск.м_g}$ (т) груза на накопительном складе в g -й месяц межнавигационного периода определяется по формуле

$$G_{ск.м_g} = g \cdot Q_{н.п.}^{от} \cdot \left(\frac{365 - T_n}{12 \cdot T_n} \right). \quad (10)$$

Количество $G_{ск.м_i}$ (т) груза на накопительном складе в i -й месяц навигационного периода определяется по формуле

$$G_{ск.м_i} = g \cdot Q_{н.п.}^{от} \cdot \left(\frac{365 - T_n}{12 \cdot T_n} \right) - \frac{n \cdot Q_{н.п.}^{от}}{12}, \quad (11)$$

где i — порядковый номер месяца навигационного периода, $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Зная количество груза, находящегося на накопительном складе по месяцам, определяются геометрические параметры штабеля открытого склада с учетом технических характеристик перегрузочных машин и характеристик причала.

Величины $M_{ск_i}$, $G_{ск_g}$ определяются по результатам модельных исследований, для натуральных открытых складов из выражений:

$$M_{ск_i} = M_{ск_i}^M \cdot k_\ell^2; \quad M_{ск_g} = M_{ск_g}^M \cdot k_\ell^2, \quad (12)$$

где k_ℓ — линейный масштабный коэффициент (величина этого коэффициента, как показали исследования, не должна превышать $k_\ell \leq 100$) [3].

Необходимо отметить, что применение технических средств борьбы с пылью позволяет не только снижать запыленность воздуха, но и уменьшать размер потерь сыпучего груза как при его хранении на открытом складе, так и при работе перегрузочного оборудования при формировании склада и выдаче со склада груза.

Список литературы

1. Аксенов И. Я. Транспорт и охрана окружающей среды / И. Я. Аксенов, В. И. Аксенов. — М.: Транспорт, 1986. — 175 с.

2. *Зубрева Н. И.* Охрана окружающей среды и экологическая безопасность на железнодорожном транспорте / Н. И. Зубрева [и др.]. — М.: УМК МПС России, 1999. — 592 с.

3. *Отделкин Н. С.* Определение потерь и отрицательного воздействия на окружающую среду в результате пылеуноса при хранении навалочных грузов на открытых складах / Н. С. Отделкин, Д. Н. Костюничев // Транспортные и технологические машины: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / НГТУ. — Н. Новгород, 2004.

4. *Отделкин Н. С.* Эколого-экономическое обоснование параметров открытых складов навалочных грузов путем прогнозирования процесса пылеуноса / Н. С. Отделкин, Д. Н. Костюничев // Экологические системы и приборы. — 2005. — № 1.

5. *Отделкин Н. С.* Анализ современных методов нормирования потерь пылящих грузов при их перегрузке и хранении / Н. С. Отделкин, Д. Н. Костюничев // Транспорт — XXI век: тез. докл. науч.-техн. конф. — Н. Новгород, 2003.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ

УДК 656.62

Е. С. Алексеева,
аспирант,
СПГУВК

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И РАЗВИТИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ СУДОХОДСТВА

COMPARATIVE ANALYSIS OF CONTEMPORARY STATE AND DEVELOPMENT OF VARIOUS FORMS OF SHIPPING

В статье рассматриваются сравнительные характеристики форм организации судоходства, принятые как в отечественной, так и в мировой практике. Рассмотрены хронология развития форм коммерческого судоходства, основные формы привлечения флота, отличительные особенности грузов, перевозимых на судах, характеристики судов, характерные особенности портового хозяйства для обработки судов и характерные особенности договоров морской перевозки при различных формах судоходства (коммерческие условия работы).

This article examines the comparative characteristics of organizational forms of navigation, used both in domestic and worldwide practice. The article considers the chronology of the development of forms of commercial navigation, the basic forms of attraction of the fleet, features of goods carried by ships, ship characteristics, characteristics of port facilities for handling vessels and the characteristics of contracts of carriage by sea in various forms of navigation (commercial conditions)

Ключевые слова: грузоперевозки, речной и морской флот, последовательные рейсы, линейное судоходство, трамповое судоходство, торгово-промышленное судоходство.

Key words: shipping, inland and marine waterways, sustained voyages, liner shipping, tramp shipping, commercial and industrial shipping.

КЛАССИФИКАЦИЯ перевозок и работы транспортных судов по формам судоходства принята как в отечественной, так и в мировой практике. Она отражает способы эксплуатации судов при выполнении перевозочного процесса. В отличие от форм привлечения флота, формы организации судоходства определяются главным образом характером обслуживаемых грузопотоков. Известно, что устойчивые и массовые грузопотоки создают условия для специализации перевозочного комплекса, формирования транспортно-технологических систем, а это, в свою очередь, обуславливает привязку определенных судов к конкретным направлениям перевозок.

В настоящее время в морском судоходстве применяются как регулярные, так и нерегулярные формы движения судов. К регулярным формам движения флота относится линейное судоходство и работа флота последовательными рейсами, а к нерегулярным — рейсовое плавание [1; 2]. При этом основными признаками регулярных форм движения судов являются определенное и постоянное направление перевозок, закрепление тоннажа и его работа по заранее заданной устойчивой схеме движения, соблюдение определенного режима движения с обусловленной степенью точности. Классификация же, принятая в мировой практике, предусматривает разграничение на трамповое и линейное судоходство. Эта тенденция в последнее время отмечается и в отечественной литературе [3]. В трамповом судоходстве работа грузовых судов не связана с постоянными районами плавания, портами погрузки и выгрузки, не ограничена определенным видом груза, а цена перевозки устанавливается по согласованию сторон [4, с. 2]. Суда трампового судоходства работают без расписания, по режиму, согласованному только между перевозчиком и грузовладельцем.

Основа трампового судоходства, как показывает практика, — перевозка массовых, крупнопартионных грузов полными судовыми партиями (с максимальным использованием грузоподъемности или грузовместимости) [5].

Аналогичная точка зрения присутствует и в работе [7], где, в частности, говорится, что для обслуживания устойчивых потоков массовых грузов практика судоходства выработала такую форму регулярного движения флота, как работа последовательными рейсами, при этом закрепленный тоннаж должен с минимальными эксплуатационными затратами обеспечить заданный объем перевозок, поддерживая наиболее целесообразный режим движения.

Таким образом, на устойчивых направлениях грузопотоков массовых грузов на базе трампового судоходства возникла его особая разновидность, известная как регулярное трамповое судоходство.

Однако ряд исследователей высказывает противоположную точку зрения на работу флота последовательными рейсами. В [8], в частности, утверждается, что линейное судоходство организуется на направлениях устойчивых грузопотоков с достаточно большими объемами перевозок, в зависимости от режима работы флота линии делятся на линии с работой флота по расписанию и линии с работой флота последовательными рейсами. В [9] указывается, что работа флота последовательными рейсами является разновидностью линейной формы судоходства.

Обобщение приведенных высказываний позволяет классифицировать работу флота последовательными рейсами как разновидность линейного судоходства. Как видно, отечественная классификация форм судоходства не дает четкого, однозначного понятия работы флота последовательными рейсами, трактуя ее как разновидность линейного или трампового судоходства. В то же время, несмотря на различие приведенных взглядов на работу флота последовательными рейсами, в них имеется общее заключение, что это — форма регулярного судоходства, основанная на перевозке большого количества массовых грузов широких номенклатур без объявленного расписания.

Вероятно, что это определение является крайне некорректным, поскольку остается неясным, почему грузов должно быть «большое» количество, то есть нет определения, сколько должно быть сделано рейсов, чтобы считалось, что судно эксплуатируется последовательными рейсами. И если этих рейсов должно быть два или несколько больше, то почему грузы должны быть именно массовыми, а не крупными сборными партиями генеральных грузов? При этом критерий отличия лежит в словах «объявленное расписание», то есть необходимо отойти от внешней формы эксплуатации судов и перейти к формам их привлечения к перевозкам. Как показано в работе [10], при заключении сделки на перевозку степень контроля судовладельца за судном определяется применяемым видом фрахтования.

Таким образом, работа флота последовательными рейсами никак не может считаться разновидностью трампового судоходства (по определению трампового судоходства) и при этом существенно отличается от линейного, что позволяет классифицировать ее как самостоятельную форму, имеющую вполне определенные принципы эксплуатации судов.

На то, что работа флота последовательными рейсами не является разновидностью ни одной из рассмотренных форм судоходства, указывает также ряд следующих работ [11–13]. Сходная точка зрения представлена в [14], где перевозчику присваивается наименование “industrial carrier” или “own account”. В [15] приведены следующие принципы работы флота последовательными рейсами как обособленной формы судоходства:

- 1) регулярный режим движения, закрепленного для перевозок на данном направлении тоннажа, согласованный с клиентурой, но не объявленный для всеобщего сведения;
- 2) схема движения судов, обычно следующих в основном направлении из порта погрузки до порта назначения без промежуточных заходов для догрузок и отправок;
- 3) система взаимоотношений с клиентурой, оформляемая специальным договором;
- 4) использование как универсального, так и специализированного тоннажа.

При работе судов последовательными рейсами закрепленный тоннаж должен с минимальными эксплуатационными затратами обеспечить заданный объем перевозок, поддерживая для этой цели наиболее целесообразный режим движения, установленный исполнительным (месяч-

ным) графиком. Провозная плата устанавливается в виде фрахтовых ставок, оговоренных на весь период действия соглашения, причем эти ставки дифференцируются по портам назначения (отправления) и, если необходимо, по периодам навигации.

В целях обоснования предпочтений судовладельцев при выборе форм судоходства рассмотрим объективно присущие различным формам судоходства преимущества и недостатки. Общепринято, что регулярные формы судоходства по сравнению с системой нерегулярного (трампового) судоходства имеют целый ряд весьма существенных преимуществ, которые в основном могут быть сведены к следующему:

1) при регулярном движении судов (особенно при линейной форме судоходства) значительно упрощается оперативное планирование работы флота;

2) закрепление судов на определенных направлениях перевозок (линиях) позволяет произвести наиболее рациональный их отбор для работы на этих направлениях с учетом всех эксплуатационных и экономических показателей;

3) отпадает также необходимость в периодическом перераспределении тоннажа по направлениям перевозок, при котором приходится считаться с фактическим местонахождением (позицией) судов к моменту составления новой расстановки (графика движения);

4) регулярные формы движения создают возможность для грузовой специализации флота и портов;

5) устанавливаются деловые контакты между судовладельцем (судовой администрацией) и судовыми агентами, что ведет к некоторому снижению затрат на снабжение судна (за счет высокой степени оптовости и регулярности заказов) и ряда других затрат;

6) грузоотправитель имеет возможность подготовить груз точно к постановке судна под погрузку, что снижает транспортные издержки, в том числе за счет снижения расходов на складирование;

7) регулярное движение, в отличие от трампового, обеспечивает снижение портовых сборов за счет предоставляемых портами скидок.

Таким образом, регулярные формы организации движения судов по сравнению с трамповым судоходством обладают определенными преимуществами, которые связаны с обеспечением повышения провозной способности флота и снижением эксплуатационных расходов.

Существенными недостатками рейсовой формы организации работы флота являются:

1) трудности в сокращении балластных пробегов тоннажа и в увеличении использования его грузоподъемности (грузовместимости), не исключается при этом и повторность захода разных судов в один и тот же порт;

2) жесткость схем движения судов и дополнительные издержки, вызываемые необходимостью обеспечения установленного ритма движения при неполной готовности грузов ряда владельцев к отправке;

3) более сложная по сравнению с трамповым судоходством структура управления и развитые формы взаимодействия между участниками транспортного процесса;

4) выполнение дополнительных операций по обработке грузов в портах и обеспечению их сохранной доставки (принципы «точно вовремя» и «от двери до двери»);

5) увеличение аппарата управления работой линейного флота, что предопределяет более высокие затраты на перевозку грузов в линейном судоходстве.

Напротив, трамповое судно может либо иметь перспективу только одного или нескольких последующих рейсов, либо не иметь ее вообще. В этом случае последующий рейс определяется в течение срока выполнения текущего и зависит только от условий, на которых судовладелец отфрахтовал свое судно. Трамповое судоходство в основном обеспечивает перевозки грузов полными судовыми партиями в непосредственной зависимости от потребности отправителя и получателя в выборе направления перевозки. Грузопоток при этом носит случайный характер. Стоимость груза трампового судоходства значительно ниже, чем линейного, что определяет минимальные затраты на сохранность перевозок и упаковку.

Как было показано, формы организации судоходства определяются главным образом характером грузопотоков. Устойчивые крупные грузопотоки создают условия для организации регулярных форм судоходства. Таким образом, каждая из рассмотренных форм судоходства требует разработки методологии для обоснованного применения, что должно базироваться на анализе условий конкретных перевозок.

Произведенный анализ особенностей перевозимых грузов при работе флота в различных формах судоходства показал, что типы и тактико-эксплуатационные характеристики привлекаемых судов в основном определяются тем, на каком направлении перевозок оно работает. Установлено, что суда многоцелевого назначения (универсальные суда), наиболее приспособленные для выполнения перевозок сборных партий грузов, в наибольшей степени используются при организации работы флота последовательными рейсами.

Торгово-промышленные перевозки, как правило, осуществляются с использованием всего спектра портов, с привлечением отдельных портопунктов и промышленных портов. Вместе с тем порты общего назначения предпочтительнее для обслуживания судов и переработки грузов широких номенклатур, поскольку они приспособлены для выполнения погрузочно-выгрузочных операций с различными грузами на одних и тех же причалах, без выделения их под грузы конкретного наименования. Эти порты, как показало исследование, как правило, используются для выгрузки судов, работающих в трампе или последовательными рейсами. Специализированные морские порты предназначены для переработки грузов конкретных номенклатур, в основном массовых. Таким образом, очевидно, что последовательные рейсы как форма коммерческого судоходства оказываются наиболее гибкими по отношению к выбору используемых портов, что, несомненно, важно при организации промышленных перевозок.

Проведенный анализ коммерческих условий эксплуатации судов в различных формах судоходства, позволяющий выявить характерные особенности договоров морской перевозки, показал, что для промышленных грузовладельцев при наличии относительно стабильного потока грузов и при достаточно продолжительной навигации наиболее целесообразной формой работы флота будут являться последовательные рейсы. Однако с ростом величины грузопотока и продолжительности (непрерывности) навигации целесообразен переход к форме торгово-промышленного судоходства. Следовательно, перспективным направлением повышения эффективности морских перевозок промышленных грузов следует считать оптимизацию управленческих решений при торгово-промышленном судоходстве.

Список литературы

1. Гуревич Г. Е. Организация планирования работы морского транспорта / Г. Е. Гуревич, В. И. Немчиков. — М.: Транспорт, 1972.
2. Луговцов А. Ф. Эффективность управления морским транспортом / А. Ф. Луговцов, Е. М. Печеник. — Киев: Техника, 1990.
3. Организация и планирование работы морского флота / под ред. А. А. Союзова. — М.: Транспорт, 1979.
4. ГОСТ 15831-70.
5. Условия коммерческой эксплуатации морских судов в заграничном плавании / под общ. ред. Б. Хабура. — М.: Рекламбюро ММФ, 1972.
6. Зотов Д. К. Морское линейное судоходство / Д. К. Зотов, А. В. Блинов. — М.: Транспорт, 1970.
7. Снопков В. И. Эксплуатация специализированных судов / В. И. Снопков. — М.: Транспорт, 1987.

8. Бакаев В. Г. Эксплуатация морского флота / В. Г. Бакаев. — М.: Транспорт, 1965.
9. Бучин Е. Д. Организация коммерческой работы при перевозках грузов в судах смешанного плавания / Е. Д. Бучин, Е. Ф. Завитаев, В. Ф. Митин. — М.: Транспорт, 1985.
10. Перевозка экспортно-импортных грузов: Организация логистических систем / под ред. А. В. Кириченко. — СПб.: Питер, 2004.
11. Панибратец Н. А. Организация коммерческой работы на морском транспорте / Н. А. Панибратец, В. И. Сухоцкий. — М.: Транспорт, 1981.
12. Блинов А. В. Развитие советского линейного судоходства / А. В. Блинов // Экономика и организация работы флота. — М.: Транспорт, 1973. — Вып. 5 (134).
13. Организация работы линий и анализ эффективности линейного судоходства: метод. рек. — М.: В/О «Мортехинформреклама», 1983.
14. Patrick M. Sea Transport: Extra Master Senior Lecturer in Shipping and Port Studies. City of London Polytechnic / M. Patrick, M. Alderton. — L.; Sunderland, 1980.
15. Гуревич Г. Е. Организация работы морского транспорта / Г. Е. Гуревич. — М.: Морской транспорт, 1961.

УДК 656.62.071.3

М. Н. Коробкова,
аспирант,
СПГУВК

ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОРТОВЫХ УСЛУГ

FORMATION OF THE QUALITY OF PORT SERVICES

В статье рассматриваются вопросы формирования и оценки качества портового обслуживания. Роль и значение морских портов в системе транспортно-логистического обслуживания. Определены такие понятия, как «транспортная продукция» и «продукция морских торговых портов», отражено понятие качества в условиях современного рынка, выявлены и проанализированы основные показатели оценки качества продукции морских торговых портов.

The article examines the formation and evaluation of quality of port services, the role and importance of sea ports in the transport and logistics services. The concepts such as transport products and seaport products are defined, the concept of quality is reflected in today's market, the article identifies and analyzes the main indicators for assessing the quality of commercial maritime ports.

Ключевые слова: морской порт, портовое обслуживание, качество продукции, продукция морских портов, качество портовой продукции, показатели качества портовой продукции, стратегия качества портовых услуг.

Key words: port, port services, quality products, products of sea ports, the quality of port products, the indicators of quality of port products, quality strategy of port services.



ПОВЫШЕНИЕ эффективности любого производства невозможно без улучшения качества продукции. Высокое качество производимых в различных отраслях товаров и услуг — важнейшее условие преодоления экономического кризиса и успешной интеграции экономики России в мировое экономическое пространство.

Проблема качества продукции (услуг) актуальна не только для предприятий различных форм собственности, отдельных отраслей народного хозяйства (промышленности, сельского хозяйства, транспорта), но и для экономики всей страны. Проводимые в стране экономические ре-

формы, постепенный переход от рынка производителя к рынку покупателя, к защите прав потребителей ставят особенно остро вопрос об уточнении методологических основ формирования качества продукции или услуг.

В 2011 г. ФГУП «Росморпорт» завершило разработку основополагающего документа, который определяют дальнейшее развитие морских портов России на ближайшую и долгосрочную перспективу, — «Стратегия развития морской портовой инфраструктуры России до 2030 года» (далее — Стратегия).

Согласно указанной Стратегии одной из приоритетных задач определено обеспечение высокого уровня конкурентоспособности отечественных предприятий морского транспорта в условиях расширения конкурентной среды и повышения качества транспортных и портовых услуг в соответствии с требованиями мировых стандартов качества. Долгосрочная политика морских портов направлена на обеспечение государственных интересов в результате портовой деятельности и достижении высокой конкурентоспособности относительно запросов, требований и ожиданий клиентов.

Таким образом, исследование понятия «качество портовых услуг», выявление основных характеристик и показателей качества портового обслуживания являются весьма актуальными проблемами.

Для раскрытия понятия качества портовых услуг необходимо, во-первых, определить понятие продукции морского порта; во-вторых, рассмотреть понятие качества в условиях современного рынка; в-третьих, выявить и описать показатели качества портового обслуживания.

Основная продукция транспорта заключается в географическом перемещении грузов. Однако, помимо пространственного перемещения при доставке грузов получателю, возникает необходимость выполнения ряда сопутствующих основному процессу операций, без которых процесс перевозки может быть весьма затруднен и даже невозможен.

Отдельные операции должны выполняться самими грузовладельцами или по их поручению и за плату посредниками, другие — транспортными предприятиями.

К числу сопутствующих следует отнести транспортно-экспедиторские операции, операции по погрузке, выгрузке и хранению грузов, ряд подготовительных и заключительных, а также расчетных операций.

Все они могли бы выполняться самими грузовладельцами или нанятыми ими лицами и организациями. Однако с точки зрения обеспечения качества транспортной продукции наилучшие возможности всегда имеются у специализированного транспортного предприятия, координирующего работу всех участников перевозочного процесса с целью быстрее продвижения грузов, обеспечения их сохранности и эффективного использования судов, вагонов, автомобилей, перегрузочных средств, а также сокращения расходов на транспортировку. Такими специализированными транспортными предприятиями являются морские торговые порты.

При выполнении сопутствующих операций также создается определенная транспортная продукция (продукция морского порта). Ею могут быть: перемещение в пределах транспортного узла, порта (станции), склада, судна, вагона, сохранение товарных характеристик грузов; изготовление комплектов и оформление грузовой документации; расчеты по платежам и т. д. Эта продукция присоединяется к основной продукции транспорта на определенных этапах, повышая ее полезность для грузовладельцев. Порты, как неотъемлемое звено транспортного процесса, не только создают условия для реализации процесса перемещения, но и оказывают большое влияние на использование провозной способности транспортных средств и скорость доставки грузов.

Транспортный процесс может быть разделен на ряд подпроцессов (подсистем формирования качества), каждый из которых характеризуется формированием качества в пределах тех или иных технологических процессов и операций. При последовательном выполнении операций в составе, например, единого технологического процесса могут быть получены оценки *производственного* качества, а в конце — у пользователя — оценки *потребительского* качества. В первом случае это свидетельство того, насколько соблюдались установленные нормы, режимы выполнения техно-

логических процессов, грузовых и коммерческих операций, каково было качество работы вообще и труда отдельных исполнителей в частности, а во втором — имеются в виду характеристики свойств, интересующих, в конечном счете, потребителя, заказчика транспортной услуги [3].

С этой точки зрения «продукция морского транспорта, например, есть совокупность завершённых процессов (циклов) пространственного перемещения грузов или пассажиров морем, выполненных в соответствии с планами, долгосрочными контрактами и разовыми договорами». Это определение впервые было дано Н. А. Панибратцем [5].

В этом определении подчеркивается завершённый характер процесса как единицы продукции, учитывается множественность перемещений различных партий грузов, становится очевидной коммерческо-правовая основа (база), имеющая цель — организовать обслуживание клиентуры, определить взаимные права и обязанности клиентуры и перевозчиков в процессе перемещения товарно-материальных ценностей.

Говоря о качестве продукции морских торговых портов, необходимо четко определить само понятие «качество продукции». Если подходить к этому понятию с общепринятой экономической позиции, то качество — это совокупность свойств продукции, которые призваны наиболее полно удовлетворять потребности потребителя в соответствии с ее назначением. В современной экономике общим мерилom являются нужды и требования потребителей. Если товар удовлетворяет их — он является качественным.

Под качеством портовой продукции предлагается понимать определенную совокупность свойств и характеристик портовой продукции, формируемых взаимоотношениями всех заинтересованных сторон при ее создании, потенциально или реально способных наиболее эффективно удовлетворять установленные и предполагаемые потребности заказчиков и общества в целом на всех этапах жизненного цикла портовой продукции [6].

Качество портовой продукции целесообразно рассматривать как систему, состоящую из трех элементов: входного качества, качества работы системы «порт» и выходного качества [5] (рис. 1).

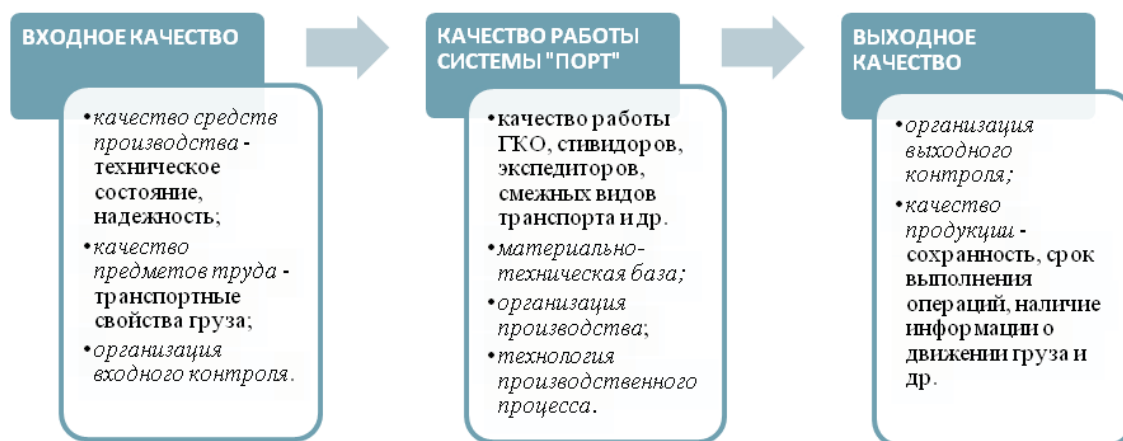


Рис. 1. Система формирования качества портовой продукции

Под *входным качеством* следует понимать качество средств производства и предметов труда, используемых в порту. Под *входным качеством средств производства* понимается совокупность их свойств, обуславливающих степень удовлетворения потребностей, связанных с производственным процессом морского порта. Совокупность свойств будет различна в зависимости от их конкретного назначения, но такие свойства, как их техническое состояние, надежность, во многом будут влиять на качество работы системы «порт». Окончательный результат портового обслуживания во многом зависит от того, какими производственными мощностями порт обладает, то есть от качества используемого производственного оборудования, машин и механизмов (краны, погрузчики, тягачи и др.), складского хозяйства, от наличия и качества специализированных

перегрузочных терминалов, железнодорожных подъездов к порту. Чрезвычайно важным является и состояние груза к моменту перегрузки: тщательная упаковка, правильно выбранные размеры и конструкция тары, достаточная маркировка. Предметом труда в порту является груз. Для определения входного качества предмета труда наибольший интерес представляет группа свойств груза, обуславливающих его транспортабельность. От состояния груза, характеристик тары и упаковки зависят условия приема, хранения и транспортировки, а также порядок и способы выполнения грузовых, коммерческих и таможенных операций в совокупности.

Все элементы, составляющие входное качество, создаются вне системы «порт» и поэтому, чтобы обеспечить соответствующий уровень качества работы системы, необходимо предъявлять соответствующие требования к уровню входного качества, и прежде всего к качеству предметов труда с точки зрения их транспортабельности. Этим объясняется необходимость входного контроля качества предметов труда, в результате которого устанавливается и фиксируется их входное качество.

Качество работы системы «порт» (внутреннее производственное качество работы системы) определяется качеством работы организаций, входящих в эту систему: государственные органы (пограничные, таможенные, ветеринарные и фитосанитарные, санитарно-карантинные и администрация морского порта), осуществляющие контрольные функции в порту; стивидоры; экспедиторы, а также перевозчики смежных видов транспорта. Каждое из этих звеньев по своей структуре характеризуется несколькими составляющими, основными из которых являются следующие.

Материально-техническая составляющая — предусматривает оптимальную оснащенность современным оборудованием (в том числе перегрузочным оборудованием и автоматизированными информационными системами), достаточным количеством складских площадей и транспортных средств, оборудованных причалов и т. п. Все это в свою очередь определяет спектр услуг, которые порт может предоставить грузовладельцам и судовладельцам, а также порядок и способы их выполнения.

Организационная составляющая — выступает как форма системы управления, которая включает компетентность персонала, подбор и расстановку квалифицированных кадров и выбор стратегии управления.

В свою очередь важным элементом организационной составляющей является технологическая составляющая, образованная из целого ряда отдельных технологических процессов, формирующих в итоге единый технологический (производственный) процесс работы системы «порт».

Качество работы системы «порт» зависит и от качества работы смежных видов транспорта, а также экспедиторских, брокерских и агентских компаний. Все элементы системы «порт» тесно взаимосвязаны между собой. Их совокупность и взаимосвязь обеспечивают ее нормальное функционирование.

Для того чтобы продукция порта считалась высококачественной, порт должен предоставлять весь спектр возможных услуг. Помимо таких основных, как погрузочно-разгрузочные работы, хранение грузов, к услугам порта относятся промышленные услуги судам и грузам (ремонт судов, судового оборудования, упаковка, маркировка грузов), административные, коммерческие, организационные услуги.

Под выходным качеством понимается качество продукции морского порта, как ее оценивает грузовладелец, пользующийся услугами порта. Это внешнее или потребительское качество продукции морского порта, реализуемое в системе отношений «клиент–порт». Очевидно, что грузовладельца интересует своевременная перегрузка грузов с одного вида транспорта на другой (just in time), сохранность грузов, безопасность операций, надежность, доступность, наличие информации о движении грузов и т. д.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы.

Между входным качеством, качеством производственного процесса и выходным качеством имеются прямые и обратные связи, в результате чего качество в морском порту может рассмат-

риваться как кибернетическая система. На рис. 1 показано, что система «порт» складывается из множества различных участников и выходное качество продукции каждого из них включается в общее выходное качество системы, которое должно соответствовать требованиям грузовладельца. При этом выходное качество производственного процесса предыдущего участника является элементом входного качества для последующего. На стыке возникают сложные взаимоотношения, связанные с общей ответственностью за качество продукции всей системы «порт».

Таким образом, качество конечной продукции, которую получает портовая клиентура, зависит от качества каждого отдельного процесса и их взаимосвязанности. Концентрация на процессах позволяет обеспечить прозрачность и управляемость перегрузочного процесса и сопутствующих работ по обслуживанию грузо- и судовладельцев. Анализ качества по показателям позволяет выявить и устранить недостатки в существующих процессах, тем самым обеспечить максимальное соответствие предоставляемых услуг потребностям портовой клиентуры.

Отраженные основные аспекты, рассматривающие качество портовой продукции как кибернетическую систему, положим в основу классификации свойств портового обслуживания, которые позволяют достичь своевременной завершенной передачи грузов с одного вида транспорта на другой.

Построение классификации начнем с функционального качества, поскольку, как отмечалось ранее, потребитель диктует производителю необходимый уровень качества. Под функциональным качеством портовой продукции понимается совокупность свойств портовой продукции, способных наиболее полно удовлетворять потребности грузо- и судовладельцев в процессе портового обслуживания.

Для клиентов морского порта представление о качестве портовой продукции формируется под влиянием следующих факторов:

- сохранность грузов (отсутствие краж, повреждений, порчи);
- гарантия непревышения определенного времени стоянки судна в порту (скорость обработки судов, железнодорожных вагонов и других подвижных средств смежных видов транспорта);
- безопасность погрузочно-разгрузочных работ;
- безопасность судна с грузом в порту и в море;
- возможность получения в реальном времени информации об операциях с грузом и состоянии транспортных средств на территории порта;
- правильность и своевременность оформления документов по приему и отправке грузов;
- порядок и скорость рассмотрения претензий при задержках и простоях судов, поврежденных грузов;
- возможность и качество выполнения дополнительных операций и услуг.

Эти требования обуславливают необходимое «качество конструкции», под которым в случае портового обслуживания понимается качество процесса производства портовой продукции. Оно должно обеспечиваться работниками порта и смежных компаний. К факторам, определяющим качество процесса, относятся:

- уровень технологий погрузочно-разгрузочных работ;
- техническая оснащенность порта;
- уровень организации производства;
- соответствие организационной структуры управления функциям и задачам портовой деятельности;
- уровень организации проведения таможенных операций, административного контроля всех видов, процедур приема и отправления грузов;
- уровень координации и взаимодействия со смежными видами транспорта;
- надежность системы безопасности и охраны в порту;
- компетентность персонала;
- экологическая безопасность перегрузочных работ.

Любой, даже самый совершенный процесс, способен обеспечить функциональное качество, то есть удовлетворить потребности клиента лишь тогда, когда не будут превышены допустимые отклонения от стандартов. В случае портового обслуживания стандартов на проведение всех операций в порту, условий договоров минимизация отклонений достигается за счет обеспечения технической надежности (например, отсутствие поломок оборудования), социальной надежности (отсутствие простоев по вине персонала) [6].

Для оценки качества портовой продукции необходимо определить номенклатуру показателей качества, способов их определения, выявить базовый набор показателей. На основе сопоставления оцениваемых показателей с базовыми проводить оценку уровня качества.

К основным группам показателей, формирующих представление потребителей портовой продукции о ее качестве, относятся:

1. Сохранность грузов — отсутствие порчи, повреждений, краж груза — доля сохранности в процессе ПРР, во время хранения, складирования и др., процент испорченных, поврежденных грузов.

2. Гарантия осуществления перегрузочного процесса в необходимые сроки — отсутствие простоев перегрузки, срок прохождения грузов через порт, срок оформления документов разного назначения, срок хранения грузов, простои железнодорожных вагонов и др.

3. Безопасность ПРР — отсутствие поломок и аварий.

4. Безопасность судна с грузом в порту и в море — доля несохранного груза при перевозке по вине портовиков, вероятность нарушения безопасности при перегрузке, уровень безопасности перегрузочных работ.

5. Возможность получения в реальном времени информации об операциях с грузом — наличие системы электронного обмена данными, доступной грузо- и судовладельцам, уровень компьютеризации документооборота, характеристики информации — точность (процент недостоверной информации), своевременность (время, затраченное для подготовки информации), полнота информации (круг вопросов, по которым можно предоставить информацию).

6. Правильность и своевременность оформления документов по приему и отправке грузов — отсутствие задержек, ошибок, затраты времени на обработку документов в человеко-часах.

7. Возможность выполнения дополнительных операций и услуг — номенклатура предоставляемых услуг (транспортно-экспедиторское обслуживание, агентские, шипчандлерские, банковские, страховые и другие услуги), максимальный объем работ по видам услуг (технические, человеческие, информационные, финансовые услуги).

Основные показатели качества, используемые для оценки качества портовых услуг (продукции), представлены на рис. 2.

Для обеспечения стабильного качества портового обслуживания необходима стратегия качества. Такая стратегия прежде всего предполагает внедрение определенной философии. Ее основные элементы отображены на рис. 3.

В центре стратегии качества — конечно же, концентрация внимания на клиентах и их потребностях, которые являются критерием качества [7]. Концентрация в данном случае означает, что, принимая любое решение в управлении, руководство порта должно учитывать, как оно отразится на удовлетворенности клиентов.

Для эффективного управления качеством принципиальное значение имеет концентрация на процессах, что подробно было рассмотрено выше.

В обеспечении качества продукции и услуг участвуют все подразделения и все сотрудники порта. Каждый работник должен четко знать, какой вклад в процесс обеспечения качества он вносит, выполняя свои должностные обязанности.

Еще один важный элемент динамичной стратегии качества — непрерывный процесс совершенствования (улучшения). Деятельность по улучшению качества направлена на обеспечение максимального соответствия производимой портовой продукции потребностям грузовладельцев, а также на устранение выявленных недостатков в существующих процессах.



Рис. 2. Показатели качества портовой продукции



Рис. 3. Стратегия качества

Качество портовой продукции зависит от качества управления, принятия решений. Решения, влияющие на качество, должны приниматься на основе фактов и проверенных данных. Описанный подход является универсальным и был законодательно закреплён серией международных стандартов ISO 9000.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

— в обеспечении конкурентоспособности отечественных портов качество выступает как главный фактор, основная составляющая;

— для современного портового обслуживания характерен диктат потребителя, а клиента интересует осуществление перегрузочного процесса в необходимые сроки и отсутствие потерь, порчи грузов;

— специфичность продукции морского торгового порта предопределяет характер ее свойств. Основными критериями, под влиянием которых формируется представление потребителей портовой продукции о ее качестве, являются гарантия осуществления перегрузочного процесса в необходимые сроки, сохранность грузов, безопасность ПРР и др.;

— обеспечение качества понимается не как техническая функция, которая реализуется каким-то одним подразделением предприятия, организации, а как систематический, непрерывный процесс, который проникает через всю их организационную структуру и касается всех их функций;

— для обеспечения стабильного качества в порту необходима стратегия качества, в основе которой лежит концентрация внимания на потребностях клиентов;

— чем выше уровень качества портовой продукции, тем больше спрос на нее. Потребители портовой продукции часто отдают предпочтение качеству в противовес цене, потому что качество портовой продукции обеспечивает сокращение времени на прохождение грузов и соответствующих расходов, увеличивает провозную способность транспортных средств, сокращает порчу и повреждения грузов во время погрузочно-разгрузочных и других операций, обеспечивает безопасность судна с грузом в порту и в море, позволяет получить дополнительные операции и услуги и на этой основе повышает конкурентоспособность портов на мировых рынках.

Список литературы

1. Бабкин Е. В. Управление качеством транспортной продукции / Е. В. Бабкин. — СПб.: СПГУВК, 1998. — 199 с.
2. Ветренко Л. Д. Управление работой морского порта / Л. Д. Ветренко. — СПб: Изд-во ЗАО «Строка», 2000. — 264 с.
3. Огвоздин В. Ю. Управление качеством. Основы теории и практики / В. Ю. Огвоздин. — М.: Дело и сервис, 2002. — 160 с.
4. Панибратец Н. А. Управление качеством продукции морского транспорта / Н. А. Панибратец. — М.: Транспорт, 1984. — 135 с.
5. Совершенствование управления морскими торговыми портами: учеб. пособие / В. И. Чекаловец [и др.]. — Одесса: ОНМУ, 2002. — 142 с.
6. Фомичев С. К. Основы управления качеством: учеб. пособие / С. К. Фомичев [и др.]. — Киев: МАУП, 2002. — 192 с.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАТРАТ
В ПЛАВУЧИХ ГОСТИНИЧНЫХ КОМПЛЕКСАХ

FEATURES OF EXPENSES GENERATION IN FLOATING HOTEL COMPLEX

В статье раскрывается понятие затрат плавучих гостиничных комплексов и их классификация. Приводится перечень гостиничных услуг, в том числе сопутствующих, оказываемых для путешественников с целью отдыха и в поездках делового назначения. Приводятся цели управления затратами. Указываются основные особенности формирования затрат в плавучих гостиничных комплексах.

The article deals with the concept of cost-floating hotel complexes and their classification. A list of hotel services, including attendant, which can be provided for travelers on vacation and for business traveling. The purposes of costs managing are given. The main features of costs formation at the floating hotel complexes are shown.

Ключевые слова: плавучие гостиничные комплексы, учет, затраты, водный транспорт, отдых, управленческий учет, транспорт, управление, цена.

Key words: floating hotel complexes, accounting, costs, water transport, recreation, management accounting, transport, management, price.

В ОДНЫЙ транспорт занимает важное место в экономике страны. Водный транспорт, предназначенный для отдыха, развлечений и экскурсий, занимает особое место в работе транспорта. Это обусловлено его высоким социально-экономическим значением в жизни общества.

За последнее десятилетие состояние пассажирских перевозок водным транспортом, предназначенным для отдыха и туризма, претерпело значительные изменения. Все больше желающих отправиться как на отдых, так и в деловую поездку, передвигаясь территориально по водным просторам всего мира.

В условиях рыночной экономики пассажирским перевозкам на водном транспорте предъявляются качественно новые требования по удовлетворению потребностей общества, повышению конкурентоспособности транспортных предприятий.

Путешествуя на водном транспорте, для удовлетворения потребностей граждан создаются плавучие гостиничные комплексы, в которых можно временно проживать в гостиничном помещении, оборудованном необходимым количеством мебели, а также получать сопутствующие проживанию услуги.

К сопутствующим услугам в плавучих гостиничных комплексах относятся: услуги ресторанов и баров, обслуживание номеров, бронирование, услуги саун, бань, бассейнов, джакузи, соляриев, фитнес-центров, массажа, прачечных, химчисток, услуги местной и сотовой связи, Интернета, телевидения, автотранспорта, парикмахерских и салонов красоты, а также услуги по сдаче помещений в аренду для размещения офисов, магазинов.

Гостиничные комплексы можно разделить на две основные группы:

1. Гостиничные комплексы, предназначенные для отдыха, развлечений и экскурсий, они относятся к комплексам среднего и экономического классов, отелям-апартаментам и отелям курортного типа. Приоритеты в выборе для путешественников с целью отдыха и развлечений распределены таким образом: цена — качество обслуживания — наличие условий для отдыха — разнообразие сервисных услуг — расположение.

2. Гостиничные комплексы делового назначения имеют такие важные функции номеров, как обеспечение гостю возможности поработать, то есть здесь необходимы письменный стол, телефон, факс, компьютер и т. д.

Для достижения определенных целей и решения задач в управлении плавучими гостиничными комплексами от управленческой системы требуется оперативная информация о затратах.

Сущность управленческого учета представлена как интегрированная система учета затрат и доходов, нормирования, планирования, контроля и анализа.

Центральной задачей в управленческом учете является эффективное управление затратами.

Цель управления затратами заключается в том, чтобы наиболее эффективным способом определить цену, которую клиент согласился бы платить за определенный набор услуг, исследовать возможности продажи клиентам таких наборов по данной цене и достичь желаемой прибыли. Таким образом, перспективы управленческого учета связаны не только с калькулированием себестоимости, но и с калькулированием продажной цены, что очень важно при продвижении продукции (товаров, услуг) на рынок и завоевании лидирующих позиций в бизнесе.

Определение цены, ценообразование, ценовая политика — важные элементы деятельности предприятия в условиях рынка. Предприятию важно не только произвести, но и сбыть товар (продукцию или услугу) с выгодой для себя, возместив все расходы, и получить прибыль.

Любая цена включает определенные элементы, она может меняться, учитывая особенности плавучих гостиничных комплексов:

- одновременность процессов производства и потребления;
- ограниченная возможность хранения;
- срочный характер гостиничных услуг;
- участие персонала в производственном процессе;
- сезонный характер спроса на гостиничные услуги;
- взаимозависимость гостиничных услуг и цели путешествия в определенную местность

также характеризуют особенность гостиничных комплексов в иных отраслях.

1. Понятие затрат, их классификация.

Под затратами понимаются потребленные ресурсы или деньги, которые требуется заплатить за продукты или услуги. Затраты группируют по месту их возникновения, носителям затрат и видам расходов.

По месту возникновения затраты группируют по производствам, цехам, участкам и другим структурным подразделениям. Эта группировка позволяет определить затраты по центрам ответственности и рассчитать производственную себестоимость продукции (работ, услуг).

Носителями затрат называют виды продукции (работ, услуг).

По видам затраты группируют по экономически однородным элементам и статьям калькуляции.

Для определения себестоимости, оценки стоимости запасов и полученной прибыли дается следующая классификация затрат:

- входящие и истекшие;
- прямые и косвенные;
- основные и накладные;
- входящие в себестоимость продукции (производственные) и внепроизводственные (перIODические, или затраты периода);
- одноэлементные и комплексные;
- текущие и единовременные.

2. Классификация затрат для принятия решений и планирования.

Целью управленческого учета является подготовка информации для внутренних пользователей, необходимой для принятия ими управленческих решений.

С этой целью выделяют следующие затраты:

- переменные, длительные, условно-постоянные — в зависимости от реагирования на изменение объемов производства (продаж);
- ожидаемые затраты, учитываемые и не учитываемые в расчетах при принятии решений;
- временные затраты (или упущенная выгода предприятия);
- безвозвратные затраты (затраты истекшего периода);
- планируемые и не планируемые затраты;
- предельные и приростные затраты и доходы.

Несмотря на значительное внимание к данному вопросу в зарубежной и отечественной литературе, большинство исследований касаются вопросов формирования информации о затратах в промышленности. В то же время исследований, освещающих проблемы формирования информации о затратах в отрасли пассажирских перевозок на водном транспорте, практически нет. Однако деятельность предприятий отрасли достаточно специфична, что делает затруднительным непосредственное использование теоретических разработок по вопросам учета затрат в других отраслях народного хозяйства. Общие требования к сбору информации о затратах должны быть скорректированы на особенности деятельности предприятий водного транспорта. Кроме того, необходимо учитывать изменения в условиях хозяйствования предприятий водного транспорта, произошедшие в последнее время, переориентацию менеджмента на оперативное решение управленческих задач, что невозможно без своевременно получаемой информации.

Основными особенностями формирования затрат в плавучих гостиничных комплексах являются:

1. Расходы по содержанию судна. Их величина зависит от типа и мощности судна, продолжительности эксплуатационного периода, численности и должностных окладов членов экипажа, соотношения времени, затраченного на движение и стоянки, установленных норм амортизационных отчислений и других показателей.

Пароходство и командный состав флота должны быть заинтересованы в том, чтобы расходы по содержанию судна были как можно меньше.

Расходы на топливо составляют значительную часть затрат по содержанию судна.

Также в состав расходов по содержанию судна входят:

- заработная плата технического персонала (основная и дополнительная);
- расходы на рацион коллективного питания;
- расходы на смазку;
- стоимость навигационных материалов;
- расходы на зимний ремонт;
- расходы на навигационный ремонт;
- расходы на зимний отстой;
- амортизационные отчисления;
- расходы на комплексное обслуживание флота;
- судовые сборы на навигационное обслуживание;
- прочие прямые расходы.

2. Портовые сборы и сборы за проход по внутренним водным путям иностранных судов.

3. Немалую долю в составе затрат плавучих гостиничных комплексов имеют расходы по содержанию обслуживающего персонала (метрдотели, официанты, горничные, супервайзеры и т. д.).

4. Для организации круглосуточного досуга клиентов, которые отправляются в путешествие по воде, иногда не на один месяц приходится задействовать значительное количество артистов, ведущих и аппаратуры на протяжении всего маршрута путешествия. Клиент не должен скучать и чувствовать дискомфорт от ограничения пространства.

Многоярусные «плавучие дома» должны привлекать своей изысканностью и комфортом, склонять самых требовательных клиентов к желанию путешествовать и тратить деньги во время

путешествия. Довольный и удовлетворенный клиент всегда готов потратить больше, чем запланировано.

5. В зависимости от целей путешествия немаловажной особенностью состава затрат являются «зеленые стоянки», которые организуются на протяжении экскурсионного маршрута.

6. Для бесперебойного обслуживания и содержания ресторанов, прачечных, бань, салонов красоты и других подразделений, оказывающих сопутствующие путешествию услуги, необходимо иметь немалые запасы продуктов питания, напитков, посуды, моющих средств, запасных частей для ремонта оборудования, запасы которых невозможно пополнить в любой момент во время путешествия.

7. Морские круизные лайнеры, которые уходят в море не на один месяц, необходимо оборудовать дорогостоящим оборудованием по опреснению воды, необходимой для жизнедеятельности всех служб лайнера.

Соотношение отдельных элементов, выраженное в процентах или долях единицы, представляет собой структуру цены.

Для предприятий основным по значимости элементом в составе цены товара является его себестоимость. В соответствии с наиболее общим определением себестоимость — это выраженные в денежной форме затраты на производство и реализацию продукции.

При обосновании конкретной цены на предприятии разрабатывается калькуляция себестоимости единицы продукции. При этом перечень статей затрат, их состав и методы распределения устанавливаются отраслевыми инструкциями по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции.

Таким образом, организация учета затрат является необходимым и актуальным направлением совершенствования информационного обеспечения управляющих систем предприятий пассажирского водного транспорта.

Список литературы

1. *Вахрушина М. А.* Бухгалтерский управленческий учет: учебник / М. А. Вахрушина. — М.: Омега-А, 2008. — 570 с.
2. *Карпова Т. П.* Управленческий учет: учебник для студ. / Т. П. Карпова. — М.: Юнити-Дана, 2004. — 351 с.
3. *Кондраков Н. П.* Бухгалтерский управленческий учет: учеб. пособие / Н. П. Кондраков, М. А. Иванова. — М.: Инфра-М, 2009. — 368 с.
4. Управление отелем: бизнес без проблем. Деловой Петербург. — СПб.: Бонниер Бизнес Пресс, 2005. — Т. 1–2.
5. *Шерemet А. Д.* Управленческий учет: учеб. пособие / А. Д. Шерemet. — М.: ИД ФБК-Пресс, 2000. — 512 с.
6. *Янковский К. П.* Управленческий учет: учеб. пособие / К. П. Янковский, И. Ф. Мухарь. — СПб.: Питер, 2011. — 368 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

STUDY OF CONTROL PROCESS BY THE TERRITORIAL-ECONOMIC OBJECTS OF THE SEA TRANSPORT

Исследованы вопросы управления на макро- и микроуровнях территориально-экономическими объектами в сфере морского транспорта. Детерминированы элементы процесса управления ТЭО. Проанализированы аспекты движения геоинформации. Выделены несоответствия геоинформационных возможностей существующих АСУ ТЭО потребностям ЛПР для управления ТЭО. Предложены инструменты их нивелирования.

The management of clusters of economic objects in the field of transport at the macro and micro levels are examined. The elements of the process of EOF's management are determined. The aspects of geo-information's traffic are analyzed. The inconsistencies of geoinformation opportunities to present EOF's ASM needs of the PDS for EOF are allocated. Directions to theirs leveling are made.

Ключевые слова: территориально-экономический объект, транспорт, геоинформация, геосистема, управление, принятие решений.

Key words: territorial-economic object, transportation, geoinformation, geosystem, management, decision-making.

ОБЩЕСТВО (социум) каждой страны не может развиваться без эффективного функционирования таких экономических элементов, как системные звенья транспортной отрасли, которые, в свою очередь, являются одновременно организационными, социальными, производственными, технологическими, техническими, экономическими, коммуникационными, информационными — сложными — системами с территориальной ориентированностью. Эффективная их работа зависит организации процесса управления. Прежде чем решать вопросы в данном контексте, необходимо провести исследование процесса управления территориально-экономическими объектами (ТЭО) транспортной сферы.

Под ТЭО будем понимать экономическо-организационные и технико-коммуникационные объекты морского транспортного комплекса (например, стивидорную компанию, судоходную компанию, терминал, железнодорожный узел, администрацию морского порта, ФГУ «Росморпорт», торговый порт в целом и т. д.), функционирующие на определенном участке территории нашей планеты или в пространстве, рассматриваемом относительно земной поверхности (ЗП).

Исследование материала, представленного в работах [1–3] по теории управления различными объектами и системами, показывает:

— на процессы управления ТЭО распространяются общие закономерности управления социальными, природными, информационными, экономическими и организационно-техническими объектами;

— процессы управления ТЭО имеют свои особенности и ограничения, связанные со спецификой пространства (территории) и функционирования ТЭО в пространстве при решении собственных специальных задач.

Управление ТЭО — целенаправленное воздействие со стороны лица, принимающего решения (ЛПР), и органа управления на подчиненный объект с целью достижения поставленных задач, имеющих наряду с содержательным (в том числе экономическим) и территориальное выражение.

Выделяют два уровня управления ТЭО — макроуровень и микроуровень [4]. Макроуровень рассматривает управление ТЭО как управление обобщенным объектом (точкой пространства), которому как единому неразделяемому на функциональные подсистемы целому приписываются его собственные интегральные характеристики состояния (координаты — местоположение, пропускная способность и т. д.), действия (выполнение специальных действий и др.) и который как единая точка функционального геопространства является объектом управления для вышестоящего органа. Ему как единой точке адресуется управленческая информация (УИ) сверху. Но сам ТЭО, являясь сложной организационно-технической и экономической системой, включает ряд структурных подсистем, функционирование которых в конечном итоге и обеспечивает решение поставленных перед ТЭО задач. Управление состоянием функциональных подсистем ТЭО составляет микроуровень управления. Выделение двух уровней управления обусловливается необходимостью учета влияния состояния подсистем ТЭО на формирование окружающей территориальной обстановки и, наоборот, учета состояния геосреды и территориальной обстановки на планирование функций (действий) структурных подразделений ТЭО.

Процесс управления территориально-экономическими объектами состоит в циклическом выполнении ЛПР и органами управления обобщенного комплекса мероприятий, представленного на рис. 1.

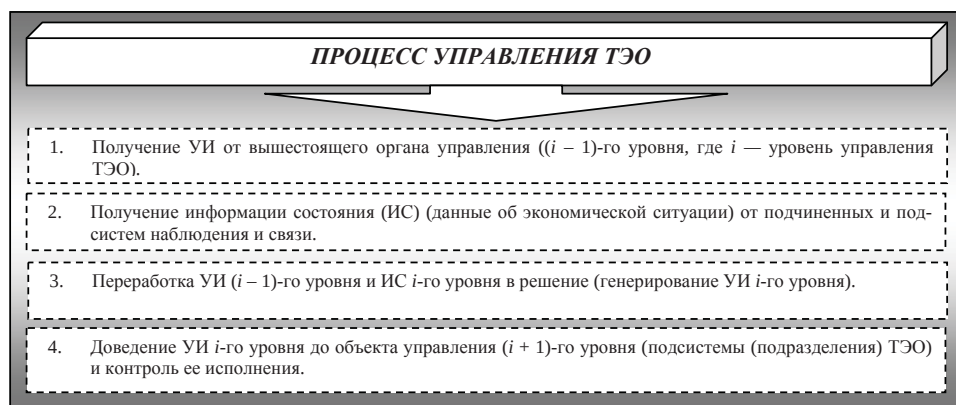


Рис. 1. Процесс управления территориально-экономическим объектом морского транспорта

Обобщенная методика ЛПР и органа управления включает этапы управления ТЭО, представленные на рис. 2.

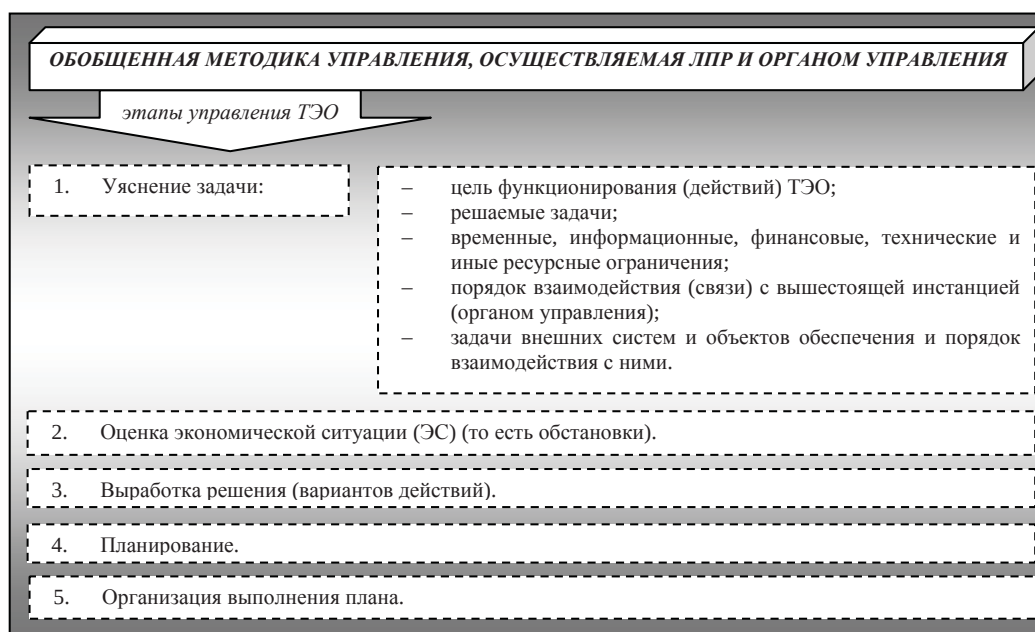


Рис. 2. Основные этапы управления ТЭО

Указанные на рис. 2 в п. 1 параметры наряду с описательным содержанием должны иметь территориальное выражение — области, зоны или рубежи, условные пространственные обозначения (знаки), временные отметки на карте или плане. Поскольку это позволит четко увязать экономические показатели (параметры) работы ТЭО с состоянием (функционированием, движением, местоположением) отдельных элементов транспортного процесса и в результате принимать оперативные решения при получении объективной информации об объектах процесса управления на базе территориальной визуализации, полученной в онлайн-режиме. Поставленная задача является основным детерминантом следующего этапа управления — оценки экономической ситуации (ЭС).

Оценка ЭС включает изучение и анализ социальных, экономических и природных факторов геосреды, влияющих на решение поставленной задачи и достижение цели, а также определение принципиальной возможности ТЭО решать поставленные задачи. Классическая схема выполнения оценки ЭС включает анализ таких трех основных системных элементов, как:

1. ТЭО и средства обеспечения.
2. Социальные и экономические факторы воздействия.
3. Среда (область) функционирования.

При выполнении частных оценок определяется, какие факторы или составляющие ЭС способствуют или препятствуют решению поставленных задач, а также географическое положение областей, в рамках которых ТЭО может решать поставленные задачи. Из частных оценок вытекает общая — может ли ТЭО решать поставленные задачи, и какова при этом область пространственной локализации территориальной активности ТЭО.

Оценка ЭС включает циклическое выполнение большого количества процедур обработки информации о геоситуации; это сбор, анализ и отображение:

- данных о факторах противодействия (внешней и внутренней среды) — местоположение, функционирование, инфраструктура и т. д.;
- информации о ТЭО и средствах обеспечения — задачи, область действия (сфера, ограничения, функционирование), взаимодействие и т. п.;
- данных о районе функционирования — многочисленные и разнообразные данные о социально-географических условиях (СГУ), экономико-географических условиях (ЭГУ) и физико-географических условиях (ФГУ) района.

Так как сам ТЭО, воздействующие на него внутренние и внешние объекты (факторы) функционируют в определенных районах геосреды, действуют и перемещаются в некотором географическом пространстве (земная поверхность, морская акватория), то информация об ЭС изначально имеет координатную привязку к ЗП, а следовательно, по определению является геоинформацией (ГИ) или пространственной (территориальной) информацией [5–7]. Следовательно, при рассмотрении содержания управления ТЭО изначально необходимо как минимум учитывать и анализировать хорологические (пространственные) аспекты территориальной активности. Важной особенностью отображения хорологического характера оценки ЭС является необходимость представления объектов и результатов пространственного анализа геоситуации в картографической или другой пространственной форме — в виде территориальных зон, областей, ареалов зон, рубежей относительно ЗП. Критические (опасные, форс-мажорные) факторы и параметры ЭС требуют своего территориального выделения на карте обстановки относительно «нейтральных» факторов.

Важным аспектом оценки ЭС является определение влияния или вклада состояния подсистем ТЭО (микроуровень управления) на общую геоситуацию, а впоследствии — на экономические параметры и в целом — на устойчивость технико-экономической, сложной организационной системы — ТЭО.

Разница между поставленной задачей и оценкой ЭС является первым приближением замысла на предстоящие действия ТЭО по достижению поставленной цели. Решение вырабатывается на основе поставленной задачи, выводов из оценки ЭС и рекомендованных (разработанных) способов и приемов действий в типовых ситуациях, содержащихся в руководящих документах и регламентах (если таковые имеются) или в эмпирических правилах, применяемых ранее.

Исходя из оценки ЭС, определяется подходящая типовая функциональная ситуация (эпизод), которая наиболее близка или соответствует реальной геообстановке и экономическому состоянию ТЭО. Выбранный типовой рекомендованный способ действий корректируется или дорабатывается с учетом конкретной функциональной геоситуации и временных параметров решаемой задачи. При определении прототипа решения допускается абстрагирование от конкретной геоситуации и осуществляется поиск вариантов действий ТЭО в топологическом (географически абстрактном, неконкретном) пространстве рекомендаций.

Решение — это то, что должен делать ТЭО в целом для решения поставленной задачи. Решение — это содержательная, пространственно-временная последовательность действий ТЭО как функциональной точки геопространства при решении поставленной экономической задачи. Для выполнения принятого решения, которое описывает действия ТЭО в целом как единой точки геопространства (макроуровень управления), осуществляется детализация решения до микроуровня управления ТЭО (подсистемы ТЭО), то есть планирование.

План — это то, как следует функционировать ТЭО, его структурным подразделениям. План — содержательная, пространственно-временная последовательность действий подсистем ТЭО, направленных на решение поставленной задачи.

Реализация решения (плана) предусматривает также управление ТЭО на двух уровнях представления и детализации: на макроуровне — управление ТЭО в целом как функциональной точкой геопространства; на микроуровне — управление подсистемами и структурными подразделениями ТЭО.

Организация выполнения решения (плана) состоит в циклическом доведении до исполнителей УИ, контроле ее исполнения (обработка ИС) и целенаправленном последовательном воздействии на объекты управления (подразделения ТЭО) при возникновении рассогласования УИ и ИС. При устранении рассогласования УИ и ИС возникают циклические переходы на этапы оценки ЭС и выработки рекомендаций (решения). Решение задач на всех уровнях управления, во всех локальных подсистемах ТЭО, требует наличия соответствующего информационного ресурса (базы данных). Информационный ресурс ЛПР и других локальных подсистем формируется с помощью организационных и функциональных подразделений ТЭО и включает две составляющие: интеллектуальную и инструментальную.

Организационные и функциональные подсистемы ТЭО — подразделения, службы, автоматизированные системы управления (АСУ), навигационный комплекс, подсистема наблюдения и связи — предоставляют руководителю пространственную информацию об ЭС и обычную непространственную или атрибутивную информацию о состоянии ТЭО. В результате мыслительной переработки этой информации в сознании ЛПР формируются две основные модели: карта окружающей обстановки и схема состояния ТЭО. В своем сознании ЛПР представляет общее пространство или территорию функциональной активности, собственное пространство ТЭО, оценивает ЭС, анализирует влияние внешней геоситуации и ЭС на использование систем и технических средств ТЭО. И наоборот, он оценивает вклад состояния ТЭО, его подсистем в формирование внешней среды. Важно подчеркнуть, что эти модели отражаются именно в сознании ЛПР, как это происходит при осуществлении системного анализа любого сложного объекта. Система информационной поддержки управления ТЭО в настоящее время напрямую такой (интеллектуально обработанной) информации ЛПР не предоставляет.

Предметная область АСУ территориально-экономическими объектами и системами включает данные об ЭС, УИ и другие группы данных. Они составляют основу геоинформационных технологий (ГИТ) отображения и оценки ЭС, выработки рекомендаций и реализации решения.

На рис. 3 показаны несоответствия геоинформационных возможностей существующих АСУ ТЭО потребностям ЛПР для управления ТЭО [8; 9]. Указанные несоответствия влияют на конечную эффективность выполнения функций и этапов управления, реализуемых ЛПР и органом управления ТЭО. В связи с этим установлено противоречие между пространственной сущностью или содержанием информации в системе управления ТЭО в целом и ее преимущественно атрибу-

тивным или описательным представлением в существующих АСУ. То есть противоречие между формой и содержанием данных предметной области АСУ. Оно включает две группы противоречий: в представлении и использовании геоинформации (ГИ) в АСУ.

В аспекте представления геоинформации это противоречия между: во-первых, пространственным характером категорий управления и атрибутивной (описательной) формой их отображения (представления); во-вторых, многомерностью реального пространства функциональной активности и двумерностью их представления; в-третьих, наличием разнообразных связей и отношений между объектами среды функционирования и их изолированным отображением; в-четвертых, статичностью карты-подложки и динамичностью реальной географической и экономической действительности; в-пятых, сложностью и разнообразием объектов ЭС и ограниченностью номенклатуры системы кодирования; в-шестых, жесткой детерминизацией состава и формы отображения данных и необходимостью адаптивного отображения геоситуации и ЭС в соответствии с информационными потребностями ЛПР на этапах управления; в-седьмых, субъективным характером геоинформации, обусловленным фактором приоритетов разработчика карты, и необходимостью ее объективизации за счет участия пользователя в формировании геоданных.

Иными словами, в представлении ГИ противоречие содержится между активным или императивным характером ее содержания, передаваемого с помощью описательной формы ГИ, и декларативно-описательным характером картографической или пространственной формы представления ГИ в АСУ.

Противоречия в использовании ГИ состоят в необходимости: 1) непрерывной, сквозной, согласованной обработки ГИ на всех этапах управления и фрагментарностью ее использования в АСУ; 2) совместной обработки разнородной по форме, времени, содержанию и территориальному охвату ГИ и возможностью использования только ее отдельных видов и форм; 3) привязки геопространственного отображения ЭС к решаемым задачам управления и возможностью ее показа только в пространстве с фиксированными параметрами; 4) выполнения пространственного анализа и оценки геоситуации и отсутствием приемлемых территориальных и унифицированных экономических критериев и оценок; 5) определения взаимосвязей макро- и микроуровней управления ТЭО и отображением геоситуации только в генерализованном виде; 6) обеспечения четкой увязки оперативной ГИ и экономической информации для своевременного принятия управленческих решений с корректировкой текущих планов и прогнозов.

Резюмируя, можно отметить, что при наличии уже в настоящее время большого, а в будущем неограниченного по составу и содержанию количества гео- и экономической информации использование этих данных продолжает оставаться крайне неэффективным — не более чем на уровне карты-подложки, что не соответствует условиям, обуславливающим инновационное развитие транспортного комплекса и общественно-экономических отношений в целом.

При достаточно высокой активности описательной составляющей или содержания геоинформации в АСУ кибернетическая или императивно-предписательная активность ее формы или визуального картографического представления является недопустимо низкой. Особенно это касается экономических аспектов, здесь наблюдается полное отсутствие «наложения» (интеграции) ГИ и информации об ЭС и функционировании ТЭО. Сегодня данный вопрос в подобном контексте в рамках морской транспортной отрасли требует детальной проработки (системного исследования).

Для того чтобы преодолеть указанное противоречие между пассивностью формы представления ГИ и необходимостью выражения активности ее содержания, чтобы сделать процесс геоинформационной поддержки управления активным (то есть ГИ должна показывать ЛПР, где и что лучше делать в районе функциональной (экономической) активности), необходимо решить проблему разработки моделей представления и методов использования ГИ и информации об ЭС в АСУ. В этом случае может быть обеспечена полноценная активная геоинформационная поддержка основных функций управления ТЭО: оценки ЭС, выработки вариантов решения, реализации решения.



Рис. 3. Несоответствия геоинформационных возможностей существующих АСУ ТЭО потребностям ЛПР для управления ТЭО

Необходимость преодоления противоречия между пассивностью формы и активностью содержания геоинформации в АСУ требует в первую очередь разработки концепции обработки гео данных в АСУ для решения задач управления. Что, в свою очередь, позволит повысить уровень культуры управления, качество и оперативность принятия управленческих решений на предприятиях транспорта, субъекты (участники) транспортного процесса выйдут на инновационный уровень транспортно-коммуникационных, а следовательно, и экономических отношений.

Список литературы

1. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: справ. / А. Н. Адаменко, А. Т. Амеров, И. Л. Бердников [и др.]; под общ. ред. А. И. Губинского, В. Г. Евграфова. — М.: Машиностроение, 1993.
2. *Поспелов Д. А.* Ситуационное управление. Теория и практика / Д. А. Поспелов. — М.: Наука, 1986.
3. *Трофимов А. М.* Геоинформационные системы и проблемы управления окружающей средой / А. М. Трофимов, М. В. Панасюк. — Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1984.
4. *Панамарева О. Н.* Экономика транспортного предприятия (морской транспорт): учеб. пособие / О. Н. Панамарева. — 2-е изд., перераб. и доп. — Новороссийск: РИО ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2012.
5. Геоинформатика: толковый словарь основных терминов / под ред. А. М. Берлянта, А. В. Кошкарёва. — М.: ГИС-Ассоциация, 1999.
6. ГОСТ Р 50828-95. Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования. — М.: Изд-во стандартов, 1996.
7. *Де Мерс.* Географические информационные системы. Основы / Де Мерс, Н. Майкл. — М.: Дата +, 1999.
8. *Биденко С. И.* Геоинформационные технологии в управлении территориальными системами / С. И. Биденко. — СПб., 2004.
9. *Ларичев О. И.* Проблемы взаимодействия человек-ЭВМ в системах поддержки принятия решений / О. И. Ларичев // Процедуры оценивания многокритериальных объектов. — М.: ВНИИСИ, 1984.

УДК 338.45:629.12

М. Е. Бубнова,
ст. преподаватель,
СПГУВК

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ОРГАНИЗАЦИИ ВНУТРЕННЕГО КОНТРОЛЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

IMPROVING OF METHODOLOGY FOR INTERNAL CONTROL AT THE ENTERPRISES OF WATER TRANSPORT

Статья посвящена актуальным аспектам совершенствования методологии организации внутреннего контроля на предприятиях водного транспорта. Обобщены современные подходы к организации

внутреннего контроля на предприятиях водного транспорта, определен характер их воздействия на методологию организации внутреннего контроля на предприятиях водного транспорта. Представлен критический анализ отдельных моментов методологии контроля в аспекте организации внешнего и внутреннего контроля на предприятиях водного транспорта.

The article is devoted to the important aspects of improving the methodology of internal control in enterprises of water transport. The paper summarizes current approaches to internal control in enterprises of water transport, the nature of their impact on the methodology of internal control in enterprises of water transport is defined. A critical analysis of some aspects of methodology in the control aspect of the organization of the external and internal control in enterprises of water transport is presented.

Ключевые слова: внутренний контроль, водный транспорт, деятельность, заказчик, функция, система.

Key words: internal controls, water transport, activities, customer, function, system.

В МИРОВОЙ практике организации контроля как заключительного этапа управления возможен вариант, когда контрольные функции в системе управления реализуются на условиях аутсорсинга или аутстаффинга, то есть возлагаются на специалистов, не являющихся работниками данного экономического субъекта. В основном такие услуги оказывают консалтинговые или аудиторские организации по специальному договору об оказании консультационных услуг по вопросам управления [2].

Некоторые специалисты полагают, что функции внутреннего контроля должны выполнять непосредственно работники организации, занимаясь этим не эпизодически, а ежедневно, поэтому предположение, что внутренним контролем могут заниматься «не только работники предприятия, но и приглашенные внутренние аудиторы», считают ошибочным [3].

В данном высказывании не учитывается двойственность, присущая внутреннему контролю. Как нам представляется, для осуществления конкретных контрольных действий в рамках управленческих функций можно привлекать специалистов со стороны. При этом, определяя внутренний контроль как функцию управления, не следует придавать слишком большое значение вопросу о том, кто контролирует — структурное подразделение самого предприятия водного транспорта или привлеченные со стороны организации или специалисты. Важно понять, какие именно функции и задачи выполняются на этапе контроля, в чьих интересах осуществляется этот контроль и кто его организует. Именно по указанным особенностям и различаются внутренний и внешний контроль.

Можно сделать вывод, что, поскольку основной функцией внутреннего контроля является обеспечение соблюдения всеми работниками своих должностных обязанностей, он действует в интересах руководства предприятия водного транспорта, организуется для более эффективной деятельности аппарата управления — системы менеджмента предприятия водного транспорта.

Дискуссионным вопросом является отнесение контроля со стороны собственников к внутреннему. Наша позиция сводится к тому, что собственники контролируют систему менеджмента собственного предприятия водного транспорта как внешние контролеры.

Логическая цепочка для понимания сущности контроля собственников повторяет предыдущую. Собственники контролируют деятельность своего предприятия водного транспорта лично, через участие в наблюдательных органах или через специальные средства контроля — ревизионные комиссии.

Ревизионные комиссии создаются в соответствии с требованиями законодательства на предприятиях водного транспорта любой организационно-правовой формы. Ревизионная комиссия является органом контроля собственников за деятельностью менеджмента предприятия водного транспорта, так как она:

— подотчетна собственникам и выполняет функции в соответствии с полномочиями, делегированными ей собственниками;

— не является структурным подразделением;

— не подчиняется системе менеджмента.

Внутренний контроль и все его органы являются частью системы менеджмента (управления), и исполнительный орган предприятия водного транспорта определяет функции и полномочия, в том числе и органов внутреннего контроля. Функции же ревизионной комиссии в минимальном наборе определены законодательно, в частности для акционерных обществ, обществ с ограниченной ответственностью и др. Основные функции, указанные в соответствующих законах, состоят в проверках финансово-хозяйственной деятельности организации и в заключении по результатам проверки годовых отчетов и годовых бухгалтерских балансов [1]. Исходя из смысла этих функций, ревизионные комиссии относятся к внешнему контролю, который осуществляется акционерами, участниками, пайщиками за деятельностью администрации соответствующих предприятий водного транспорта.

В табл. 1 обобщены признаки внутреннего и внешнего контроля для ревизионных комиссий обществ с ограниченной ответственностью как наиболее распространенной организационно-правовой формы предприятий водного транспорта. Имеющие место тенденции в преобладании признаков внешнего контроля наблюдаются и в отношении ревизионных комиссий, создаваемых для предприятий водного транспорта других организационно-правовых форм.

Таблица 1

**Характеристика функций ревизионных комиссий
по признакам внутреннего и внешнего контроля**

Признаки внутреннего контроля	Признаки внешнего контроля
Дополнительные функции — работа по специальным заданиям системы менеджмента хозяйственного общества	Основная функция — проверка финансово-хозяйственной деятельности по годовой бухгалтерской (финансовой) отчетности
Порядок работы определяется уставом и внутренними документами хозяйственного общества	Работа по плану, утвержденному руководителем организации на собственных заседаниях
	Может осуществляться на условиях аутсорсинга или аутстаффинга лицами, не связанными с исполнительным органом, и членами совета директоров хозяйственного общества
	Подотчетность перед собранием собственников хозяйственного общества
	Проверки по собственной инициативе
	Утверждение собранием сметы по содержанию

Конечно, собственники заинтересованы в результативности функционирования системы менеджмента предприятия, так как от этого зависит эффективность деятельности предприятия водного транспорта в целом. В ст. 3 Лимской декларации руководящих принципов контроля можно найти подтверждение данной точки зрения. В частности, там сказано, что если внутренние контрольные службы создаются внутри отдельных ведомств и организаций и являются частью организационной структуры, то внешние ревизионные службы не являются частью организационной структуры проверяемых организаций. Высший контрольный орган является внешним ревизионным органом. В качестве внешней контрольной службы высший контрольный орган должен проверять эффективность внутренней контрольной службы [5].

Понятие внешнего и внутреннего контроля, которое дается в рамках классификации контроля, исходит только из определения классификационного признака «по отношению контролирующего субъекта к контролируемому объекту», то есть с точки зрения принадлежности к организационной, но неуправленческой системе. В связи с этим можно сделать следующие выводы:

— контроль всегда присутствует в любой системе управления (контроль как функция управления);

— вне системы управления контроля нет;

— контроль для данной управленческой системы является внутренним.

Таким образом, для обозначения основных направлений совершенствования внутреннего контроля на предприятиях водного транспорта необходимо учитывать, что совершенствование системы внутреннего контроля представляет собой непрерывный процесс обоснования и реализации наиболее рациональных форм, методов, способов и путей ее создания и/или реструктурирования, развития, а также рационализации ее отдельных сторон, контроль и выявление негативных моментов и тенденций на основе непрерывной оценки соответствия системы контроля внутренним и внешним условиям функционирования предприятия водного транспорта.

На каждом отдельно взятом предприятии водного транспорта можно по-своему рационализировать систему внутреннего контроля исходя из внутренних и внешних условий и степени ее развития и эффективности. Но существуют общие закономерности и методы повышения эффективности функционирования системы внутреннего контроля, подходящие для большинства предприятий водного транспорта. На небольших предприятиях водного транспорта, как правило, недостаточно ресурсов для построения эффективной системы внутреннего контроля, однако некоторые из перечисленных ниже рекомендаций полезны и для них.

Реализация предлагаемых направлений совершенствования внутреннего контроля должна обеспечить снижение возможности злоупотреблений должностных лиц и сохранность имущества предприятия водного транспорта, а также совершенствование, упрощение и снижение трудоемкости контрольной работы и, как следствие, повышение эффективности системы внутреннего контроля в целом.

Во-первых, контроль эффективности сегментов деятельности. Сегмент деятельности предприятия водного транспорта представляет собой любой элемент коммерческой деятельности, который может быть рассмотрен в аспекте расширения или сокращения этой деятельности. В частности, судно как объект оперативного внутреннего контроля представляет собой сегмент деятельности предприятия водного транспорта. С учетом современного развития информационных технологий, в том числе телекоммуникаций, представляется возможным создание системы оперативного контроля предприятия водного транспорта и судов в процессе оказания транспортных услуг. Дело в том, что особенностью оказания транспортных услуг предприятиями водного транспорта является длительность их осуществления во времени и, как правило, удаленность в пространстве. Таким образом, предложение по синхронизации современных тенденций в IT-технологиях с налаживанием системы оперативного внутреннего контроля представляется логически обоснованным. Для оптимизации контроля эффективности различных направлений деятельности предприятия водного транспорта целесообразно составить внутреннюю сегментарную отчетность по судам, географическим районам плавания, типам заказчиков и т. п. Оперативный контроль показателей деятельности предприятия водного транспорта в данных разрезах на основе детального анализа внутренней сегментарной отчетности предотвращает появление и рост негативных тенденций в отдельных сегментах деятельности и положительно влияет на результаты деятельности предприятия водного транспорта в целом. Например, работникам экономических служб следует регулярно осуществлять контрольно-аналитические расчеты, чтобы выявить наиболее рентабельные сегменты и направления деятельности, требующие более продуманной сбытовой политики.

Так, вычитая переменные издержки из выручки, распределенной по сегментам, можно вычислить суммы покрытия «1» (маржа покрытия) (выручка минус переменные издержки) по данным сегментам. Из сумм покрытия «1» вычитают издержки сбыта, которые можно распределить по соответствующим сегментам (например, расходы по транспортировке в конкретных географических регионах). Таким образом, получают сумму покрытия «2» (прибыль). Сумма покрытия «2» участвует в расчете рентабельности продаж в разрезе сегментов деятельности. Подобные контрольные расчеты необходимы для проведения целенаправленной селективной сбытовой полити-

ки. Но такие многомерные расчеты осуществимы только в том случае, когда можно точно отнести определенные издержки к отдельным сегментам.

Во-вторых, присвоение группы риска заказчику. В целях контроля различных аспектов взаимоотношений с контрагентами по коммерческим договорам и недопущения ухудшения результатов деятельности предприятия водного транспорта из-за неверного их выбора каждому заказчику присваивается категория риска. Ранжирование заказчиков по категориям риска (классы заказов по рискам: высокий, средний, низкий и др.) производится начальником соответствующего структурного подразделения по разработанному алгоритму на основе установленных внутрифирменных условий.

В-третьих, формирование базы данных по заказчикам. Структура базы данных по заказчикам разрабатывается соответствующим структурным подразделением предприятия водного транспорта (АСУ). Форма базы данных утверждается коммерческим директором. Формирование базы данных по заказчикам целесообразно возложить на руководителя соответствующего структурного подразделения, которое будет аккумулировать информацию по аспектам взаимоотношений с заказчиками. База данных в этом случае представляет собой утвержденную форму внутреннего учета, то есть конкретным образом выраженную систему данных, включающую документы, материалы, файлы и системно построенные формуляры, определенным образом структурированная совокупность всех имеющихся данных о заказчике.

База данных должна регулярно обновляться в соответствии с новыми сведениями о заказчике. Такая база данных служит для контроля заказчика на предмет его надежности и финансовой устойчивости, соблюдения им договорной дисциплины, для контроля выполнения договорных обязательств самим предприятием водного транспорта. При этом руководитель соответствующего структурного подразделения контролирует соблюдение порядка ограниченного доступа к документам, материалам и файлам, образующим указанную базу данных, и обеспечивает их сохранность.

В-четвертых, совершенствование контроля за злоупотреблениями должностных лиц. Для снижения риска потерь в результате злоупотреблений (сговор с заказчиками) отдельных должностных лиц, санкционирующих заключение договоров оказания транспортных услуг на водном транспорте, при разработке сбытовой политики следует отдавать предпочтение заключению долговременных договоров при детальном обсуждении ключевых условий таких договоров на совете директоров (правлении) предприятия водного транспорта. Менеджеры, предлагающие конкретных заказчиков для заключения договоров, должны нести персональную материальную ответственность за исполнение этими заказчиками своих обязательств по договорам. Для стимулирования этих менеджеров целесообразно разработать систему поощрений за каждого заказчика.

В-пятых, совершенствование контроля при планировании продаж транспортных услуг на водном транспорте. В рыночных условиях хозяйствования, особенно в условиях перманентного экономического кризиса, необходимым условием выживания предприятий водного транспорта является завоевание и сохранение предпочтительной доли рынка услуг на водном транспорте, на что и направлена оптимизация планирования продаж транспортных услуг.

В данной статье не анализируется применение известных экономико-математических методов и моделей прогнозирования и планирования продаж. Каждая из этих моделей обладает определенными достоинствами и недостатками, происходит постоянное их совершенствование и обновление, в том числе на базе использования современных IT-технологий. Как правило, они ориентированы на круг организаций, обладающих соответствующей информационно-технологической базой.

В заключение следует отметить, что в целях совершенствования и повышения эффективности системы внутреннего контроля следует сочетать жесткие (привязанные к конкретным плановым периодам) и гибкие (не привязанные к определенным срокам действия и меняющиеся достаточно произвольно по мере изменений внутренних и внешних условий функционирования предприятия водного транспорта) системы планирования деятельности предприятия водного

транспорта. Сочетание двух систем планирования позволяет достичь прогресса в разработке краткосрочных и долгосрочных (стратегических) планов. При этом долгосрочные планы определяют базовые целевые установки по направлениям деятельности предприятия водного транспорта, а краткосрочные конкретизируют эти цели. Такое сочетание позволяет повысить эффективность направляющего контроля и снизить вероятность возникновения дорогостоящих последствий ошибок, вызванных неудовлетворительным прогнозированием объема транспортных услуг, неудачным планированием номенклатуры транспортных услуг, некачественной информацией при планировании и т. д.

Список литературы

1. Об обществах с ограниченной ответственностью: федер. закон Рос. Федерации от 8 февраля 1998 г. № 14-ФЗ (в ред. от 6 декабря 2011 г. № 405-ФЗ).
2. Об акционерных обществах: федер. закон Рос. Федерации от 26 декабря 1995 г. № 208-ФЗ.
3. *Бурцев В. В.* Организация системы внутреннего контроля коммерческой организации / В. В. Бурцев. — М.: Экзамен, 2000.
4. *Бурцев В. В.* Экаунтинг как концептуальная основа формирования информационных потоков / В. В. Бурцев // Управленческий учет и финансы. — 2006. — № 2.
5. *Скобара В. В.* Аудит: методология и организация / В. В. Скобара. — М.: Инфра-М, 2005.
6. *Deyhle A.* Controller und Controlling / A. Deyhle, B. Steigmeier und Autorenteam. — Bern; Stuttgart; Wien: Haupt, 1993.
7. Лимская декларация руководящих принципов контроля [Электронный ресурс] // Официальный сайт Счетной палаты Российской Федерации. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.ach.gov.ru/ru/international/limskay/> (дата обращения: 01.02.2012).

Научное издание

Журнал университета водных коммуникаций
Выпуск 3 (15)

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 20.09.12. Формат 60х90/8
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 26,04. Тираж 500 экз. Заказ № 124
Отпечатано в типографии ФБОУ ВПО СПГУВК
198035, Санкт-Петербург, Межевой канал, 2