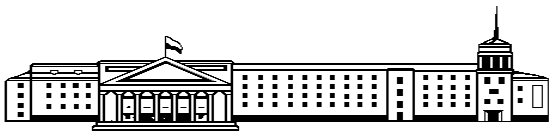
ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ВОДНЫХ КОММУНИКАЦИЙ»



ЖУРНАЛ УНИВЕРСИТЕТА ВОДНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Выпуск 4 (16)

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.
Ныркov А. П.
Зубрилов С. П.
Лиходей О. А.
Ушакова Г. В.
Некрасов С. Н.
Климов Е. Н.
Посашкова С. Е. (*ответственный секретарь*)

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2012

ББК 95
я5

Журнал университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2012. — 202 с. (Вып. 4).

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
9 772073 616785 >

© 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.

Агентство «Роспечать» объявляет подписку

на 2013 год

на Журнал СПГУВК



Издателем Журнала является
Санкт-Петербургский государственный
университет водных коммуникаций

ИНДЕКС
ПОДПИСНОГО ИЗДАНИЯ

37276

В Журнале публикуются исследовательские работы ведущих специалистов отрасли, большинство из которых имеют ученую степень доктора наук, а также являются членами различных академий, и прежде всего Академии транспорта.
Основная тематика Журнала связана с отраслевой деятельностью — эксплуатация водных путей, портов и гидротехнических сооружений, эксплуатация судов, судостроение и судоремонт, управление и транспортное право, экономика и финансы, охрана окружающей среды, информационные технологии, инновационные методы в образовательном процессе.

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!



Дорогие читатели и авторы нашего Журнала, позвольте поздравить вас с наступающим Новым 2013 годом и пожелать вам, вашим родным и близким здоровья, благополучия и успехов в трудовой деятельности по подготовке высококвалифицированных специалистов для транспортной отрасли. В свою очередь редакционная коллегия Журнала приложит все усилия, чтобы результаты исследовательской работы авторов нашли отражение в нашем издании и помогли в их реализации, а читателям наш Журнал был всегда интересен и полезен.

Главный редактор Журнала

Барышников С. О.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВОДНЫЕ ПУТИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И ПОРТЫ 8

Рудых С. В. Исследование судоходной обстановки ГБУ «Волго-Балт» 8
Иофин З. К. Линейно-корреляционная модель водного баланса как отражение генетической теории стока 15
Голоскоков Д. П. Аналитический расчет водоудерживающей обшивки сегментного затвора в гидротехнических сооружениях 22

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА 30

Тузов Л. В., Брежнев В. И. Анализ теплонапряженности судовых дизелей 30
Ежов Ю. Е., Погодаев Л. И., Кузьмин А. А. Повышение надежности ведущих деталей рабочих устройств судов технического флота 37
Саушев А. В. Синтез настраиваемых электротехнических систем 46
Андрианов Е. Н., Сахаров В. В., Таранин А. Г. Модальный метод параметрического демпфирования элементов судовых механизмов 56
Иванов Е. Н., Черничкова А. В., Шамсиева М. Б. Способ расчета электрических цепей на основе квадратичного программирования 67

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ 72

Ломтева К. О. Расчет изгиба прямоугольной панели палубного перекрытия судна 72
Ларин Р. Н. Технологические особенности струйной очистки судовых металлоконструкций с помощью сухого льда 79
Безюков О. К, Шаршавин С. В. Тепловая диагностика состояния клапанов судового четырехтактного дизеля 92

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 98

Соколов С. С. Моделирование размещения груза при мультимодальных перевозках 98
Левченко Н. Г. Оптимизация слабо формализованных процессов с использованием нечеткой нейронной модели 105
Журавлев А. Е. Диалог с информационной системой оперативного учета судопропуска в шлюзованной системе на усложненных запросах подмножества естественного языка 114

СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ 124

Гаврилов В. В., Семионичев Д. С. Выявления опасностей объектов водного транспорта методом формализованной оценки безопасности 124
Соляков О. В., Гусев А. К. Требования к спутниковому позиционированию на внутренних водных путях России 131

ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 135

Хачоян М. М., Туркин А. В., Туркин В. А. Исследование эффективности установки для очистки дымовых газов от оксидов азота в присутствии озона 135

Чебан Е. Ю. Обоснование параметров численного моделирования обтекания бонового ограждения 141

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ 149

Богданов А. А., Паристова Л. П., Тихомирова Т. А. Центр ответственности как компонента финансовой логистики авиапредприятия 149

Голубцов А. Н., Зюзин В. Л., Сулейманов И. Г. Повышение эффективности работы пассажирских транспортных предприятий региона 153

Татаркин А. И., Набережнева Е. П. Транспортная составляющая в моделировании государственной экономической политики региона 160

Бабурин В. А., Минеев С. К., Бабурина К. Р. Анализ нормативно-правового обеспечения организации обслуживания судов в портах 165

Домнина О. Л. Прогноз развития страхования на транспорте 172

Панамарева О. Н. Геоинформационные системы и программные технологии в управлении сложными территориально-экономическими процессами 178

Приходько В. М., Ивлев М. Л., Приходько И. В. Экономический эффект внедрения методики прогнозирования электропотребления судоремонтного предприятия 191

Малиновская О. В., Скобелева И. П. Университеты в системе моделей инновационного развития транспортной отрасли экономики 194

ЖУРНАЛ университета водных коммуникаций

ВОДНЫЕ ПУТИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И ПОРТЫ

УДК 656.62:621.396

С. В. Рудых,
канд. техн. наук,
СПГУВК

ИССЛЕДОВАНИЕ СУДОХОДНОЙ ОБСТАНОВКИ ГБУ «ВОЛГО-БАЛТ»

INVESTIGATION OF NAVIGATION CONDITIONS OF GBU “VOLGO-BALT”

Целью настоящей статьи является анализ средств навигационного оборудования и средств постановки плавучих навигационных знаков, применяемых на водных путях одного из самых передовых государственных бассейновых управлений водных путей и судоходства — «Волго-Балтийского государственного бассейнового управления водных путей и судоходства» (ГБУ «Волго-Балт»).

The purpose of the article is the analysis of internal waterways equipment of one of the most advanced State boards of waterways and navigation “Volga-Baltic State Basin Board of Waterways and Navigation” (GBU “Volgo-Balt”).

Ключевые слова: внутренние водные пути, средства навигационного оборудования, безопасность судоходства, глобальные навигационные спутниковые системы.

Key words: internal waterways, safety of navigation, aids to navigation, global navigation satellite systems.

В РОССИЙСКОЙ Федерации для судоходства используется свыше 100 тыс. км внутренних водных путей, из которых 61,5 тыс. км обслуживаются системой средств навигационного оборудования, обеспечивающей безопасность судоходства, включающей в себя около 50 тыс. береговых и более 30 тыс. плавучих навигационных знаков. Содержание средств навигационного оборудования (СНО) возложено на государственные бассейновые управления водных путей и судоходства, из которых 15 имеют статус федеральных государственных учреждений и одно — «Канал им. Москвы» — имеет организационную форму государственного управления — федеральное государственное унитарное предприятие (ФГУП). Протяженность водных путей бассейновых управлений водных путей и судоходства, обслуживаемых судоходной обстановкой, представлена на рис. 1.

Состав СНО, их количество и схема расстановки на отдельных участках внутренних водных путей зависят от судоходных характеристик водного пути (габаритов судового хода, грунтов, слагающих дно, наличия подводных препятствий, гидрологических условий и т. п.) и интенсивности судоходства (уровня использования грузовым и пассажирским флотом).

Расстановка знаков должна обеспечивать бесперебойное и беспрепятственное движение судов по внутренним водным путям любой сложности при минимальном количестве знаков. Порядок расстановки СНО и восстановления поврежденных знаков и светосигнального оборудования регламентируется следующими основными документами [2; 3].

Волго-Балтийский водный путь (ВБВП) является частью Единой глубоководной системы европейской части России, соединяющей водные пути, выходящие к Балтийскому, Белому, Каспийскому, Черному и Азовскому морям. Он представляет собой систему судоходных рек, озер, каналов и гидротехнических сооружений на участке Санкт-Петербург–Череповец, обеспечивающую проход крупнотоннажных судов грузоподъемностью до 5 тыс. т. Схема водных путей ГБУ «Волго-Балт» представлена на рис. 2.

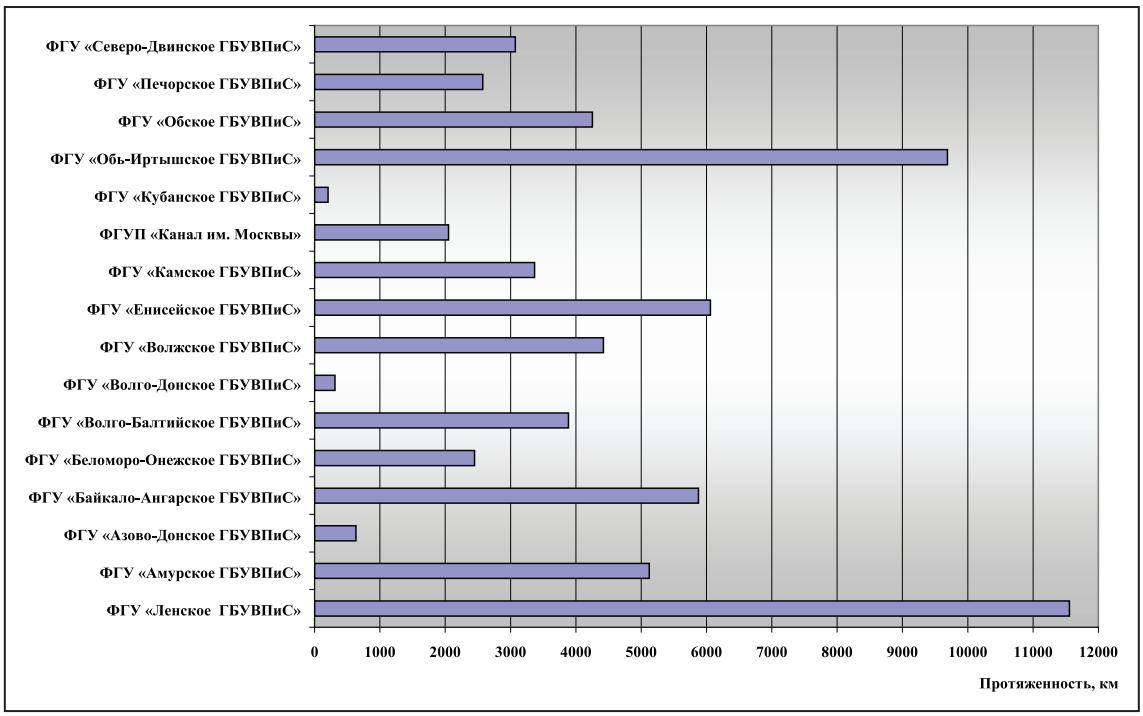


Рис. 1. Протяженность внутренних водных путей государственных бассейновых управлений водных путей и судоходства, обслуживаемых судоходной обстановкой



Рис. 2. Схема водных путей ГБУ «Волго-Балт»

ГБУ «Волго-Балт» обеспечивает функционирование сложного комплекса инженерных объектов, включающего в себя около 4900 км эксплуатируемых водных путей, 11 судоходных шлюзов с напором от 11 до 18 м, 3 гидроэлектростанции, 25 земляных плотин и дамб, 9 мостовых переходов, 8 маяков Ладожского озера, более 4800 знаков судоходной обстановки, протяженную магистраль радиорелейной линии связи, береговую сеть радиолокационных станций и базовых станций АИС.

Волго-Балтийский водный путь (ВБВП) имеет статус водных путей международного значения на основании подписанного 19 января 1996 г. в Женеве соглашения «О важнейших внутренних водных путях международного значения» (СМВП). Эксплуатационные характеристики ВБВП полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к водным путям согласно существующей классификации европейских внутренних путей международного значения.

Протяженность судоходных путей ГБУ «Волго-Балт» в соответствии с утвержденной программой категорий средств навигационного оборудования и сроков их работы, гарантированных габаритов судовых ходов составляет около 4 тыс. км, в том числе с гарантированными габаритами более 2,4 тыс. км и освещаемой обстановкой более 2,3 тыс. км.

Состав СНО включает 4858 навигационных знаков, из которых:

— плавучих знаков 2433, в том числе буев 1671, вех 762 (рис. 3);

— береговых знаков 2426 (рис. 4), в том числе:

— створные знаки — 1081;

— ориентиры — 324;

— путевые огни — 264;

— опознавательные знаки — 51;

— весенние — 53;

— информационные — 253;

— ходовые — 47;

— перевальные — 187;

— рейдовые — 152;

— маяки — 14.

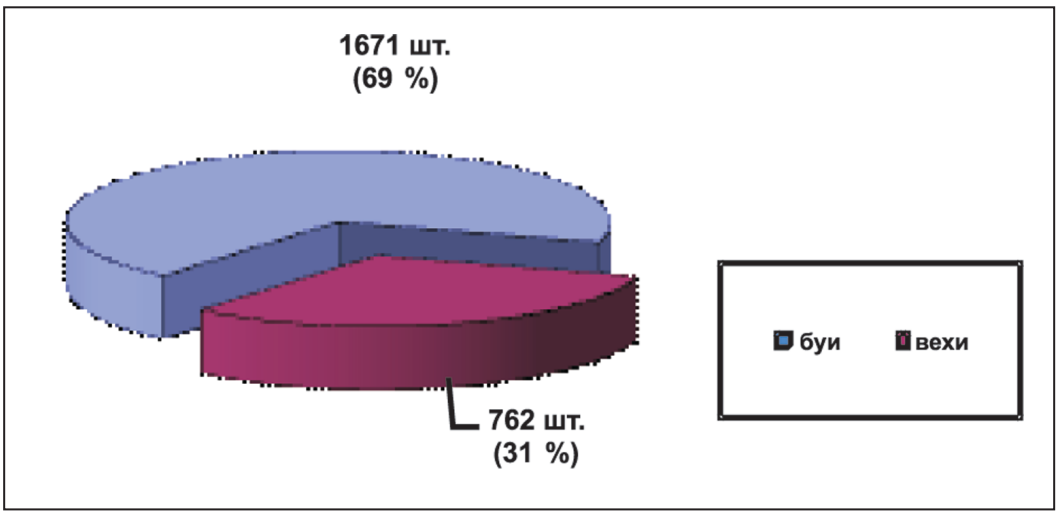


Рис. 3. Состав плавучих навигационных знаков ГБУ «Волго-Балт»

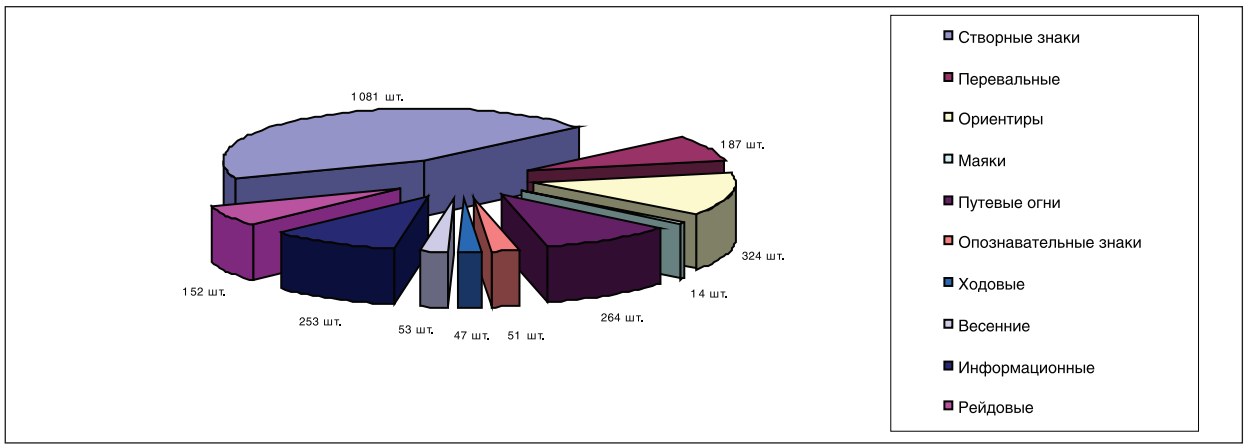


Рис. 4. Состав береговых навигационных знаков ГБУ «Волго-Балт»

Навигационные знаки, применяемые на внутренних водных путях ГБУ «Волго-Балт», соответствуют действующему ГОСТ 26600-98 «Знаки навигационные внутренних водных путей», за исключением маяков и плавучих навигационных знаков, соответствующих системе Международной ассоциации маячных служб (МАМС), на которые не распространяется вышеуказанный государственный стандарт.

Для обслуживания СНО на водных путях Волго-Балтийского бассейна в настоящее время применяется бригадный и бригадно-постовой организационные способы обслуживания обстановки. Обслуживание навигационных знаков производят 32 обстановочные бригады и 17 обстановочных постов. Обслуживание СНО осложняется тем обстоятельством, что обстановочный флот в основной массе состоит не из специально построенных обстановочных судов, а из переоборудованных буксиров, паромов и т. п., далеко не в полной мере отвечающих условиям оптимальной работы. Обстановочный флот ГБУ «Волго-Балт» только лишь на 42,4 % состоит из судов, специально построенных для целей обстановки, из которых 39,4 % занимают суда проекта 391 различных модификаций и 3 % — суда проекта Р-121. Остальные 57,6 % — это переоборудованные суда, в основном состоящие из буксиров мощностью 150–170 л. с. Распределение обстановочных судов ГБУ «Волго-Балт» по проектам изображено на рис. 5.

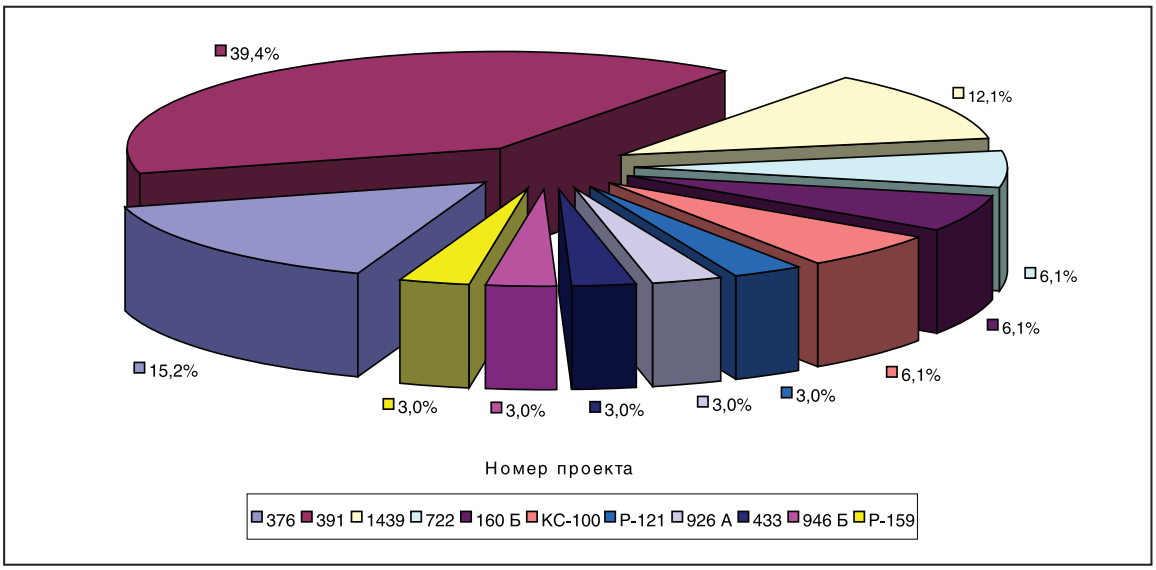


Рис. 5. Распределение обстановочных судов ГБУ «Волго-Балт» по проектам

Береговые навигационные знаки, обозначающие положение судового хода, являются основными и более надежными по сравнению с плавучими знаками, так как они имеют постоянное местоположение. Плавучие знаки дополняют навигационное оборудование судового хода, они более точно указывают его кромки или положение отдельных препятствий, однако могут быть повреждены или смещены со своего штатного места проходящими судами, льдом, плавучими торфяными полями, мусором и т. п.

Поврежденные и смещенные со штатного места плавучие знаки на участках водных путей, обслуживаемых обстановочными бригадами, восстанавливают при очередном объезде участка по утвержденному графику. Конкретные сроки восстановления зависят от протяженности обслуживаемого участка, судоходных характеристик пути, скорости обстановочного судна, состава выполняемых работ и т. п. Для участков водных путей с освещаемой обстановкой график объезда, как правило, составляется таким образом, чтобы обстановочная бригада производила объезд участка 2 раза в сутки: один раз в светлое время суток для проверки штатного положения навигационных знаков и один раз в темное время суток для проверки работоспособности светосигнального оборудования СНО.

При получении извещения или сообщений от проходящих судов о том, что знаки повреждены, обстановочная бригада принимает меры по скорейшему их восстановлению, изменяя при необходимости график объезда участка пути, с отметкой об этом в вахтенном журнале обстановочного судна.

С момента повреждения знака, его светосигнальной аппаратуры или смещения знака со штатного места до обнаружения такого повреждения или смещения увеличивается вероятность возникновения транспортного происшествия, поэтому для обеспечения высокого уровня безопасности судоходства необходимо сократить до минимума временно́й интервал от момента наступления неисправности СНО до момента обнаружения такой неисправности. Эта задача может быть успешно решена путем внедрения систем дистанционного мониторинга средств навигационного ограждения (СНО) на основе спутниковых систем позиционирования. Круглосуточный мониторинг навигационных знаков на основе спутниковых систем позиционирования позволит в реальном времени отслеживать состояние СНО согласно заданным параметрам, например по таким, как определение смещения знака со штатного места, удар проходящим судном, неисправность светосигнального оборудования, состояние заряда батарей и др.

Использование дистанционного мониторинга СНО на основе спутниковых систем позиционирования позволит сократить время, затрачиваемое на обнаружение повреждения навигационного знака, его светосигнального оборудования или смещения СНО со штатного места с 8–12 ч, до нескольких минут или даже секунд.

Для высокоточной постановки плавучих знаков навигационного оборудования на водных путях ГБУ «Волго-Балт» применяются автоматизированные программно-аппаратные комплексы «Путевой мастер» (WayMaster) и «Судовой обстановочный комплекс», основанные на глобальных навигационных спутниковых системах ГЛОНАСС, Navstar-GPS.

Автоматизированный комплекс постановки плавучих СНО «Путевой мастер» (рис. 6) является совместной разработкой ООО «Абрис» и специалистами ГБУ «Волго-Балт».



Рис. 6. Автоматизированный комплекс постановки плавучих СНО «Путевой мастер» плавучих навигационных знаков

Комплекс состоит из DGPS — приемоиндикатора, цифрового эхолота и переносного компьютера со специализированным программным обеспечением на основе электронно-картографической системы и используется на водных путях ГБУ «Волго-Балт» с 2010 г.

«Судовой обстановочный комплекс» (СОК), разработанный ЗАО «Транзас» (рис. 7), так же предназначен для постановки плавучих СНО.

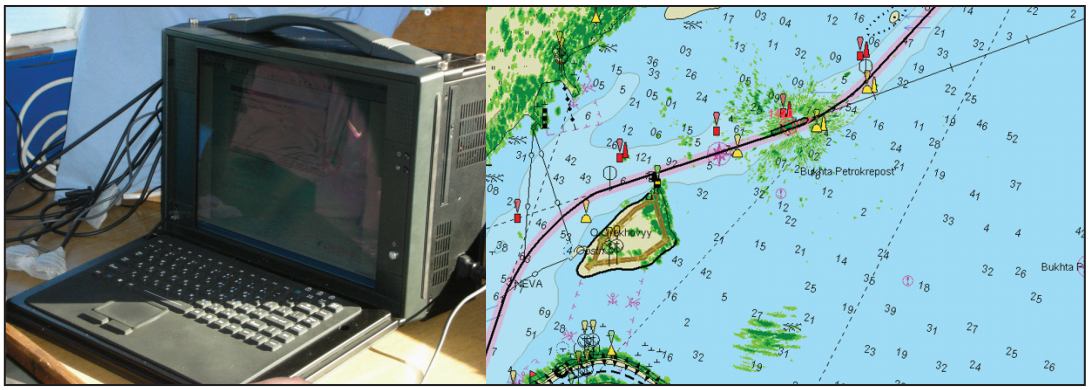


Рис. 7. Судовой обстановочный комплекс

СОК состоит из переносного компьютера в виброзащитном исполнении, ДГЛОНАСС/DGPS-приемника, цифрового эхолота, специализированного программного обеспечения на основе электронной картографии, комплекс был поставлен в опытную эксплуатацию в 2011 г.

Использование дифференциального режима ДГЛОНАСС/DGPS с приемом поправок от контрольно-корректирующих станций (ККС) обусловлено необходимостью высокой точности для постановки плавучих навигационных знаков, обеспечивающих безопасность судоходства.

В основе дифференциального метода с коррекцией координат лежит относительное постоянство значительной части погрешностей спутниковых радионавигационных систем (СРНС) во времени и пространстве. Дифференциальный режим СРНС предполагает наличие как минимум двух приемников сигналов НКА или приемоиндикаторов. Один из приемоиндикаторов располагается на контрольно-корректирующей станции (ККС), второй предназначен для определения координат пользователя. Координаты ККС известны, они определены геодезически точно и привязаны к принятой системе координат (как правило, это система координат ПЗ-90 для ДГЛОНАСС и WGS-84 для DGPS).

Разности между измеренными приемоиндикатором ККС и рассчитанными значениями псевдодальностей НКА, находящихся в зоне видимости ККС, а также разности соответствующих псевдоскоростей или обратные величины тех и других по каналам передачи данных передаются пользователю в виде дифференциальных поправок. В аппаратуре пользователя эти поправки вводятся для уточнения измеренных псевдодальностей и псевдоскоростей, что позволяет повысить точность навигационного местоопределения.

В случае если погрешности определения псевдодальностей слабо изменяются во времени и пространстве, они в значительной степени компенсируются переданными дифференциальными поправками. В рассматриваемом случае ошибки псевдодальностей из-за синхронизации спутников практически постоянны в пространстве.

Точность местоопределения после ввода поправок определяется остаточными погрешностями, обусловленными изменчивостью квазисистематических ошибок синхронизации и эфемеридного обеспечения НКА, ошибок из-за воздействия ионосферы, погрешностей селективного доступа GPS (при наличии последнего), а также ошибками, обусловленными шумами и помехами, многолучевостью и воздействием тропосферы. Таким образом, погрешность определения i-й псевдодальности δD_i в дифференциальном режиме можно записать так:

$$\delta D_i = \delta D_{\text{эфем}} + \delta D_{\text{ион}} + \delta D_{\text{шп}} + \delta D_{\text{шККС}}, \quad (1)$$

где $\delta D_{эфем}$ — остаточные погрешности, вызванные эфемеридными ошибками;
$\delta D_{ион}$ — остаточные погрешности, вызванные ионосферными ошибками;
$\delta D_{шп}$ — шумовые погрешности приемоиндикатора пользователя;
$\delta D_{шККС}$ — шумовые погрешности приемоиндикатора ККС.

Шумовые погрешности $\delta D_{шп}$ и $\delta D_{шККС}$ учитывают погрешности приемоизмерителей, обусловленные внутренними и внешними шумами, ошибки за счет многолучевости и остаточные ошибки, обусловленные особенностями распространения радиоволн в тропосфере. Будем считать их случайными и взаимно независимыми. Тогда дисперсия определения *i*-й последовательности имеет вид

$$\sigma_i^2 = \sigma_{эфм}^2 + \sigma_{ион}^2 + \sigma_{шп}^2 + \sigma_{шККС}^2. \quad (2)$$

Предполагая взаимную независимость и одинаковость статистических характеристик погрешностей (3) для различных *i*, получим соотношения соответственно для точности определения координат потребителя (среднеквадратическая сферическая ошибка, ССО) и временно́й поправки $T_2' - T_1'$:

$$\rho_3 = K_{GP}\sigma_i,$$
$$\sigma_t = \frac{K_{GT}\sigma_i}{c}, \quad (3)$$

где $T_2' - T_1'$ — расхождения шкалы времени СРНС и приемоиндикаторов;
K_{GP}, K_{GT} — геометрические факторы при определении места и времени (PDOP, TDOP) [2].

Список литературы

1. *Рудых С. В.* Современное состояние и уровень оснащенности судов технического и вспомогательного флота на внутренних водных путях России / С. В. Рудых // Журнал университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2011. — Вып. 3 (11). — С. 42–49.

2. Инструкция по содержанию навигационного оборудования внутренних судоходных путей» / Департамент внутренних водных путей Мин-ва транспорта РФ. — М., 1997. — 146 с.

3. Правила технической эксплуатации речного транспорта. Правила технической эксплуатации речного транспорта / Мин-во речного флота РСФСР. — М., 1974. — 79 с.

4. *Каретников В. В.* Автоматизация судовождения / В. В. Каретников, В. Д. Ракитин, А. А. Сикарев. — СПб.: СПГУВК, 2007. — 264 с.

УДК 502/504:556.1:519.233.5

З. К. Иофин,
ФГБОУ ВПО «Вологодский государственный технический университет»

ЛИНЕЙНО-КОРРЕЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВОДНОГО БАЛАНСА КАК ОТРАЖЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ СТОКА

THE LINEAR CORRELATION MODEL OF WATER BALANCE AS A REFLECTION OF THE GENETIC THEORY OF FLOW

Рассмотрена взаимосвязь линейно-корреляционной модели водного баланса и генетической теории стока. Рассмотрены генетические виды склонового стока и их связь и выражение посредством параметров линейно-корреляционной модели. Представлено обоснование линейности зависимости речного стока от атмосферных осадков.

Interconnection of the linear correlation model of water balance and the genetic theory of flow is considered. Genetic types of the sheet flow and their connection and expression by the use of parameters of the linear correlation model are considered. Substantiation of linearity of dependence of the river runoff on the precipitation is presented.

Ключевые слова: уравнение водного баланса, параметры уравнения водного баланса, линейно-корреляционная модель водного баланса, генетическая теория стока, подвешенный склоновый сток, подпертый поверхностный склоновый сток, подпертый почвенный сток.

Key words: water balance equation, water balance equation parameters, linear correlation model of water balance, genetic theory of flow, perched sheet flow, backed-up surface sheet flow, backed-up ground flow.

Постановка проблемы

Линейно-корреляционная модель водного баланса возникла из логического предположения о возможности получения некоторых водно-балансовых параметров при рассмотрении корреляционной зависимости речного стока от атмосферных осадков. Действительно, различие между величинами речного стока и выпадающими на водосбор атмосферными осадками обусловлено потерями как стока, так и атмосферных осадков. Формирование всех видов гидрологических характеристик на водосборе — атмосферных осадков, стока, потерь — имеет теоретическое обоснование. Поэтому при использовании значимой корреляционной зависимости величин речного стока от атмосферных осадков, выпадающих на водосбор, необходимо попытаться получить математические выражения для величин потерь.

Для этой цели предложена линейно-корреляционная модель водного баланса.

В качестве постановки проблемы при использовании линейно-корреляционной модели выступает правомерность использования линейной зависимости речного стока от атмосферных осадков. А также, что очень важно, физическая обоснованность модели с точки зрения существующих гидрологических закономерностей на основе генетической теории стока.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования рассмотрены линейно-корреляционная модель с линейной связью слоя стока со слоем атмосферных осадков, а также состав уравнения водного баланса с точки зрения его физической обоснованности. Коль скоро речь идет о линейности связи сток–осадки, принципиальным становится вопрос именно линейности этой связи. Этот аспект также является объектом исследования. И наконец, в качестве объекта исследования рассматривается параметр b и его связь с генетическими видами стока.

В качестве метода исследования в работе использован метод эмпирического уровня. К методу эмпирического уровня мы отнесли сравнение формальных признаков модели и физического содержания параметров модели, обоснованного теоретически.

А. Корреляционные связи.

Линейно-корреляционная модель водного баланса может применяться при значимой корреляционной связи слоя речного стока от слоя атмосферных осадков. Формально при использовании линейно-корреляционной модели возникают несколько проблем. Одна их них — это допущение о линейности связи речного стока от атмосферных осадков. Это допущение может быть подтверждено следующим логическим обоснованием.

Линейность корреляционной связи слоя стока от слоя атмосферных осадков в одном случае может нарушаться за счет более интенсивного нарастания стока, в другом, наоборот, — более интенсивного нарастания атмосферных осадков. Указанное одностороннее интенсивное нарастание одной из переменных при нормальном (естественном) изменении второй переменной как раз и вызывает несоответствие в форме рассматриваемой линии связи на графике. Так, в случае интенсивного нарастания речного стока со значениями, расположенными на оси ординат, и естественного изменения слоя атмосферных осадков, значения которого расположены на оси абсцисс, будет иметь место вогнутая кривая связи.

Выпуклой кривой в указанных координатах и рассмотренных переменных (сток и осадки), вероятно, не существует, так как при естественном изменении слоя стока трудно ожидать более чем наблюденное увеличенное значение атмосферных осадков. Увеличенные по сравнению с наблюденными на метеорологической сети значения атмосферных осадков возможны только за счет искусственного их воспроизводства.

Возвращаясь к вогнутой кривой зависимости слоя речного стока от слоя атмосферных осадков, отметим, что сочетание исходных данных и такое их графическое представление маловероятно для естественных условий. Представляется, что нарушение линейности связи может быть связано с излишней неестественно завышенной величиной стока. Завышение величины стока по сравнению с их естественной величиной и величиной атмосферных осадков может быть вызвано дополнительным стоком.

В качестве дополнительного стока может появляться сток из поверхностных или подземных емкостей-хранилищ на водосборе либо перетекание объемов воды из соседних водосборов. Других причин просто нет. Такими источниками дополнительного стока могут быть подземные емкости на водосборе в виде карстовых образований или поверхностных источников аккумуляции в виде водохранилищ. Кроме того, источниками дополнительного стока могут быть слабо выраженные водоразделы, допускающие перетекание стока из одного водосбора в другой. Объемы перетекания условно могут быть отнесены также к емкостям на исследуемом водосборе.

Таким образом, естественный ход изменения речного стока и атмосферных осадков в виде прямой линии нарушают различного рода емкости на водосборе.

Рассматривая графики связи сток–осадки, необходимо отметить еще одну характерную особенность. Это положительное значение свободного члена b_5 в уравнении прямой, связывающей рассматриваемые переменные (рис. 1). Свободный член уравнения при положительном b_5 отсекает на оси ординат отрезок выше нулевой координаты по ординате.

Как показано в работе [4, с. 62–67], отрезок b, независимо от знака, характеризует суммарную величину впитывания за период водообразования и слой впитывания после конца стока за счет объемов воды, накопленных в понижениях. Последний иногда называют поверхностным задержанием стока на водосборе.

Отрезок b_5 также характеризует слой впитывания, но еще до начала выпадения атмосферных осадков. Такой слой впитывания мог быть создан за счет подъема уровня грунтовых вод до дневной поверхности или до уровня, близкого к дневной поверхности. Других причин формирования слоя впитывания еще до выпадения атмосферных осадков, на наш взгляд, не существует.

В этом случае происходит так называемая пассивная аккумуляция — процесс, который входит в состав естественных условий формирования стока [1]. До процесса активного водообразования, когда появляется на поверхности водосбора микроручейковая сеть, формируется отрезок с отрицательным значением b_4 в уравнении зависимости стока от осадков (рис. 2). С другой стороны, процесс водообразования может происходить и в условиях, когда уровень грунтовых вод находится вблизи дневной поверхности. Эти условия характеризуют заполненную емкость к началу водообразования и образуют отрезок зависимости стока от осадков с положительным значением свободного члена в уравнении прямой b_5.

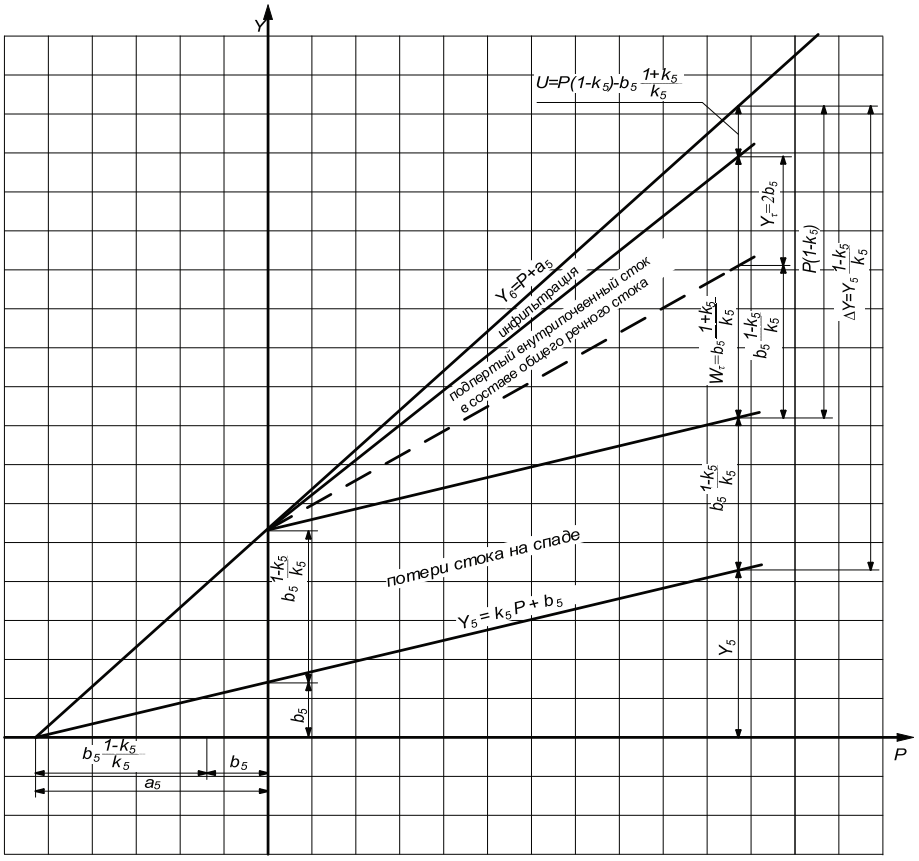


Рис. 1. Графическое изображение элементов водного баланса при положительном *b*

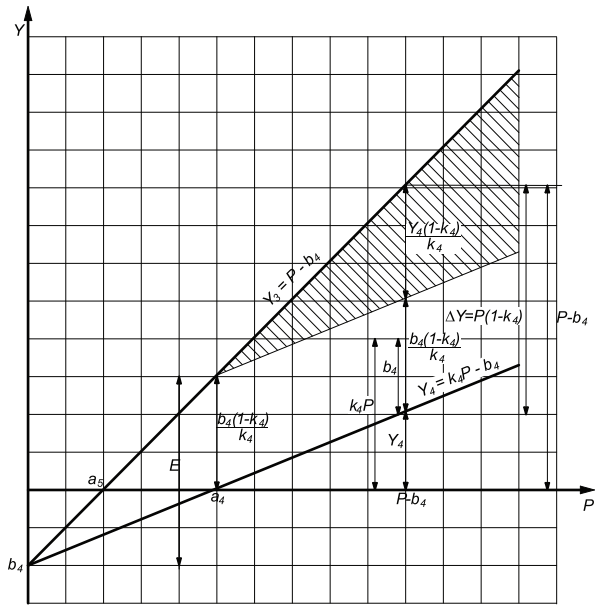


Рис. 2. Графическое изображение элементов водного баланса при отрицательном *b*

При отрицательном b_4 создаются условия для формирования водообразования в виде микроручейковой сети на поверхности водосбора. При этом происходит накопление слоя впитывания в толще почвогрунтов. При положительном b_5 процесс водообразования происходит значительно быстрее, но, в отличие от наиболее распространенного в равнинных условиях подвешенного стока, возникает другой вид речного стока — подпертый внутрипочвенный сток.

Необходимо отметить, что параметр b отражает генетический вид склонового стока и никак не влияет на форму графика связи сток–осадки.

Говоря о линейной связи стока с осадками, авторы работы [5, с. 53–57] также считают такую зависимость линейной.

Коль скоро необходимо оперировать корреляционной зависимостью, возникает вопрос о качестве корреляционной связи: всегда ли эта связь оказывается удовлетворительной по тесноте расположения точек на графике. Иными словами, речь идет о значимости коэффициента корреляции. В работе [2] показано, что практически всегда значимая корреляционная зависимость может быть получена при использовании равнообеспеченных величин переменных.

Б. Уравнение прямой линии как разновидность уравнения водного баланса.

Отправной точкой для установления подобия двух уравнений — уравнения прямой и уравнения водного баланса — послужил вид этих двух уравнений [4]. Уравнение, связывающее сток Y и атмосферные осадки P:

$$Y_3 = P - b_4, \tag{1}$$

которое идентично уравнению водного баланса вида

$$Y = P - E, \tag{2}$$

где E — суммарное испарение с поверхности водосбора.

Оба уравнения, отражая водный баланс, являются уравнениями прямой.

Но недостатком водного баланса, выраженного прямыми *1* и *2*, является недоучет некоторых видов потерь. Показать это можно, используя известное в гидрологии понятие стокообразующих атмосферных осадков $P_{ст}$. Стокообразующие осадки — это осадки, выпадающие с момента начала стока. Говоря об уравнении прямой (1) с коэффициентом регрессии k, равным 1, нужно сказать, что оно отражает скорее идеальные условия водного баланса, чем реальные. Это утверждение об идеальных условиях водного баланса следует из того, что сток не может быть равен выпадающим на водосбор атмосферным осадкам $P_{ст}$. А при $k = 1$ имеет место равенство $Y = P_{ст}$. Поэтому реальный сток с водосбора и реальный водный баланс отражаются уравнением с $k \leq 1$ [4]:

$$Y_4 = k_4 P \pm b. \tag{3}$$

Знак перед свободным членом b является показателем, отражающим генетический вид стока. В формуле (3), если под b иметь в виду b_4, то знак при b_4 всегда отрицательный, а при b_5 всегда положительный. Параметр b со своим знаком и соответствующий генетический вид стока рассмотрены ниже.

Как известно, речной сток с водосбора подразделяется на склоновый и русловой. Поскольку основную долю в стоке составляет склоновый сток, рассмотрим виды склонового стока.

Согласно генетической теории стока [1] разнообразные сочетания природных условий (климатических, геоморфологических, почвенных, геологических) создают достаточно большое качественное различие видов паводочного стока. В свою очередь серии паводочного стока создают значительную часть годового стока.

Подвешенный поверхностный сток является одним из них. Этот вид стока возникает за счет превышения интенсивности осадков над интенсивностью впитывания. Процесс образуется из первоначального накопления слоя впитывания в почву, когда интенсивность впитывания пре-

вышает интенсивность атмосферных осадков. С накоплением влаги в почве, снижением интенсивности впитывания и определенной интенсивности дождя происходит образование влаги на поверхности земли, формируется процесс водообразования, с накоплением которого появляется поверхностный сток. В результате образования предельной полевой влагоемкости в почве и продолжающегося дождя образованный поверхностный сток не имеет контакта с грунтовыми водами, а поэтому называется подвешенным.

Почвенный сток равнин. Этот вид стока образуется за счет более высокой проницаемости почв по сравнению с материнской породой.

Подпертый поверхностный сток подтопляемых низменностей. Образуется за счет неглубокого залегания грунтовых вод, поднимающихся до поверхности при обильных осадках.

Подпертый почвенный сток равнин. Возникает при подтоплении почвенных горизонтов грунтовыми водами. Этот вид стока связан с подпертым поверхностным стоком.

Поверхностно-почвенный сток болотных массивов.

Сток, осуществляемый как поверхностным путем во время паводков, так и почвенным путем во время межени не имеет большого веса в общем стоке, поскольку площади болот, как правило, ограничены.

Контактный сток с горных склонов. Возникает в рыхлом слое почвогрунтов по контакту с подстилающим водоупором.

Подпертый поверхностный сток с горных склонов. Сток, гидравлически связанный с контактным.

Результаты исследования и обсуждение

Указанные виды склонового стока возникают при определенных физических процессах, происходящих на водосборе. С точки зрения генетической теории формирования речного стока [1] рассмотренный ранее вариант с отрицательным b_4 физически отражает подвешенный поверхностный сток, возникающий за счет поверхностного водообразования. Под поверхностным водообразованием понимается избыток интенсивности дождя над интенсивностью поверхностных потерь. Этот вид стока не связан с залегающим глубоко уровнем грунтовых вод. Он как бы подвешен в почвенном слое.

Положительное значение b_5 обязано своим происхождением существующему перед началом стока зааккумулированному объему воды на водосборе. Этот объем может быть создан как в емкости почвогрунтов, так и в емкости водохранилищ на водосборе. Отсюда и положительное значение b_5, то есть до начала стока в почве водосбора уже есть некоторый объем воды. В связи с этим возможно сочетание подпертого поверхностного стока и подпертого почвенного стока (внутрипочвенного) либо только внутрипочвенного стока. Подпертый почвенный сток осуществляется внутрипочвенным путем, за счет сравнительно большого объема воды в почве.

Итак, уравнение (3) в качестве уравнения водного баланса отражает большинство видов склонового стока, характерных для равнинных рек. На основе уравнения (3) разработана линейно-корреляционная модель водного баланса [4].

Используя уравнение прямой линии (3), по модели получены такие элементы водного баланса, как впитывание за период водообразования, поверхностное задержание стока на водосборе, потери стока на спаде половодий и паводков после окончания водообразования, слой инфильтрации, слой суммарного испарения, слой испарения с водной поверхности. Кроме этого, при высоком стоянии уровня грунтовых вод модель позволяет определить внутрипочвенный сток.

Покажем основные зависимости линейно-корреляционной модели, по которой могут быть получены перечисленные выше водно-балансовые характеристики. Полностью доказательство и вывод зависимостей приведены в [4].

Параметр уравнения b_4 отражает суммарное впитывание за период водообразования, а также впитывание после окончания стока за счет объема воды, оставшейся в замкнутых понижениях,

то есть аккумуляцию выпадающих осадков в понижениях до начала и после окончания водообразования.

Коэффициент регрессии k_4 показывает долю атмосферных осадков, идущих на водообразование и сток.

В работе [2] показано, что

$$a_4 = b_4 + b_4 \frac{1-k_4}{k_4} = E \tag{4}$$

представляет суммарное испарение, а

$$Y_4 \frac{1-k_4}{k_4} = U \tag{5}$$

— слой инфильтрации.

Если следовать уравнению водного баланса в составе [4]:

$$P = Y + E + U, \tag{6}$$

то будет интересен вопрос о том, будет ли получен баланс из параметров линейно-корреляционной модели.

В уравнении (6) E — суммарное испарение с речного бассейна за вычетом конденсации; U — слой инфильтрации в подземные воды; Y — слой речного среднегодового стока.

Итак,

$$P = Y_4 + b_4 + b_4 \frac{1-k_4}{k_4} + Y_4 \frac{1-k_4}{k_4} = \frac{Y_4 k_4 + b_4 k_4 + b_4(1-k_4) + Y_4(1-k_4)}{k_4} =$$

$$= \frac{Y_4 k_4 + b_4 k_4 + b_4(1-k_4) + Y_4(1-k_4)}{k_4} = \frac{Y_4 k_4 + b_4 k_4 + b_4 - b_4 k_4 + Y_4 - Y_4 k_4}{k_4} =$$

$$= \frac{b_4 + Y_4}{k_4} = \frac{b_4 + k_4 P - b_4}{k_4} = P. \tag{7}$$

В результате нами получено тождество.

Рассмотрим зависимости для водно-балансовых параметров, полученных по линейно-корреляционной модели при положительном b_5.

Само значение b_5 не меняет физического смысла, поскольку не имеет значения, когда заполнены почвогрунты: до начала водообразования или в процессе водообразования. Это накопленные слои впитывания за период водообразования и слои впитывания после окончания стока за счет объемов воды, оставшихся в замкнутых понижениях.

Суммарное испарение также не меняет структуры своего математического выражения и равно

$$a_5 = E = \frac{Y_5}{k_5} - P = \frac{Y_5 - k_5 P}{k_5} = \frac{b_5}{k_5} = b_5 + b_5 \frac{1-k_5}{k_5}. \tag{8}$$

Проверим соответствие указанных балансовых составляющих слою атмосферных осадков:

Суммарное испарение также не меняет структуры своего математического выражения и равно

$$a_5 = E = \frac{Y_5}{k_5} - P = \frac{Y_5 - k_5 P}{k_5} = \frac{b_5}{k_5} = b_5 + b_5 \frac{1-k_5}{k_5}. \tag{9}$$

Единственный параметр, которого коснулось изменение, — это слой инфильтрации. Выражение приобрело следующий вид:

$$P(1-k_5)-b_5\frac{1+k_5}{k_5}=U \text{ — инфильтрация.} \quad (10)$$

Проверим соответствие указанных балансовых составляющих слою атмосферных осадков:

$$P=Y_5+b_5+b_5\frac{1+k_5}{k_5}+\left[P(1-k_5)-b_5\frac{1+k_5}{k}\right]=$$

$$=Y_5+b_5+b_5\frac{1-k_5}{k_5}+P(1-k_5)-b_5\frac{1+k_5}{k_5}=$$

$$=b_5+b_5\left(\frac{1-k_5}{k_5}-\frac{1+k_5}{k_5}\right)+P-k_5P=$$

$$=Y_5+b_5-2b_5+P-k_5P=Y_5-b_5+P-k_5P=Y_5-Y_5+P.$$

Таким образом, мы получили тождество.

Заключение

Итак, рассмотрено уравнение прямой *3* и зависимости для водно-балансовых параметров, выведенных на основе линейно-корреляционной модели и уравнения (3).

Как и следует из теории стока, суммарное впитывание в почву b_4 определяет процессы суммарного испарения и стока. Кроме того, изменение коэффициента регрессии k_4 отражает нарастание слоя инфильтрации при уменьшении k_4 или снижение слоя инфильтрации при увеличении k_4.

Измененное математическое выражение для слоя инфильтрации при b_5 по сравнению с выражением при b_5 физически оправданно. Различие в математических выражениях вызвано тем, что при высоком стоянии уровня грунтовых вод процесс инфильтрации существенно отличен от процесса при глубоком залегании грунтовых вод.

Зависимости получены для ряда видов склонового стока, что объединяет идею линейно-корреляционной модели с генетическими видами стока. Важным в полученных зависимостях является охват не только подвешенного склонового стока, характерного для отрицательного значения b_4, но и подпертых поверхностного и почвенного стока. Последние виды стока отражаются в положительном значении b_5.

Отмеченные зависимости для водно-балансовых элементов совместно с математическим выражением для внутрипочвенного стока получены впервые и адекватно отражают физические процессы, происходящие на водосборе.

Список литературы

1. *Бефани А. Н.* Вопросы региональной гидрологии. Паводочный сток: учеб. пособие / А. Н. Бефани. — Киев: УМК ВО, 1989. — 132 с.

2. *Великанов М. А.* Водный баланс суши / М. А. Великанов. — М.: Гидрометеоиздат, 1940. — 140 с.

3. *Великанов М. А.* Ошибки измерения и эмпирические зависимости / М. А. Великанов. — Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1962. — 303 с.

4. *Иофин З. К.* Новый подход к определению составляющих водного баланса / З. К. Иофин // Тр. VI Всесоюз. гидрологического съезда. Секция 3. — Л.: Гидрометеоиздат, 2008. — Ч. 1.

5. *Исмайылов Г. Х.* Исследование водного баланса речных бассейнов: основные проблемы и возможные решения / Г. Х. Исмайылов, В. М. Федоров // Тр. VI Всесоюз. гидрологического съезда. Секция 3. — Л.: Гидрометеоиздат, 2008. — Ч. 1.

6. *Оппоков Е. В.* Осадки, сток и испарение в бассейне Днепра выше Киева (по новейшим данным) / Е. В. Оппоков // Исследование рек СССР. — 1935. — Вып. 7. — С. 38–54.

УДК 539.3

Д. П. Голоскоков,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ ОБШИВКИ СЕГМЕНТНОГО ЗАТВОРА В ГИДРОТЕХНТЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ

ANALYTICAL CALCULATION OF A WATER-RETAINING COVERING OF A SEGMENT LOCK OF HYDRAULIC ENGINEERING CONSTRUCTIONS

Водоудерживающая обшивка сегментного затвора моделируется пологой цилиндрической оболочкой, подкрепленной стрингерами. Получено аналитическое решение задачи деформирования поперечной нагрузкой пологой цилиндрической оболочки, подкрепленной ребрами жесткости вдоль образующей. Решение основного разрешающего уравнения теории ребристых пологих оболочек относительно комплексной функции представлено в виде ряда по комбинациям регулярных и специальных разрывных функций, что приводит к быстро сходящимся рядам и простому вычислительному алгоритму.

The water-retaining covering of a segment lock is modeled by the flat cylindrical cover supported with stringers. The analytical solution of a problem of deformation is received by cross-section loading of the flat cylindrical cover supported with edges of rigidity along forming. The solition of the basic equation of the theory of flat shells with ribs concerning complex function is presented in the form of a series from combinations of regular and special discontinuous functions. This solution leads to quickly converging series and simple computing algorithm.

Ключевые слова: теория пологих ребристых оболочек, цилиндрическая оболочка, разрывные функции.

Key words: theory of flat shells with ribs, cylindrical shell, discontinuous functions.

---

1. Введение. На рис. 1 приведен вариант конструктивной схемы сегментного затвора с использованием выпуклой цилиндрической обшивки. Аналогичная конструкция исследовалась при проектировании конструкции сегментного затвора для нижней головы судоходного шлюза гидроузла № 10 «Тришин» (Республика Беларусь) в связи с необходимостью замены старого затвора.

Материал металлоконструкции сегментных ворот — сталь 09Г2С, имеющая следующие характеристики согласно [1]: модуль упругости $E = 2{,}1 \cdot 10^5$ МПа; коэффициент Пуассона $\nu = 0{,}3$.

Сегментный затвор представляет собой сложную пространственную конструкцию, напряженно-деформированное состояние которой можно определить в настоящее время (в связи с широким внедрением в инженерную практику вычислительной техники) эффективным приближенным методом решения задач механики — методом конечных элементов (МКЭ).

На обшивку затвора действует гидростатическое давление; треугольная эпюра интенсивности этого давления схематично показана на рис. 1 для напора $h = 5{,}5$ м. В расчетной схеме МКЭ цилиндрическая поверхность обшивки заменяется ломаной поверхностью с прямолинейными участками между соседними узлами обшивки по высоте затвора. Соответственно треугольная

эпюра гидростатического давления заменяется ступенчатой эпюрой с прямоугольными участками между соседними узлами по высоте. Интенсивности давлений на плоских участках обшивки вычисляются как средние значения между соседними узлами по треугольной эпюре гидростатического давления.

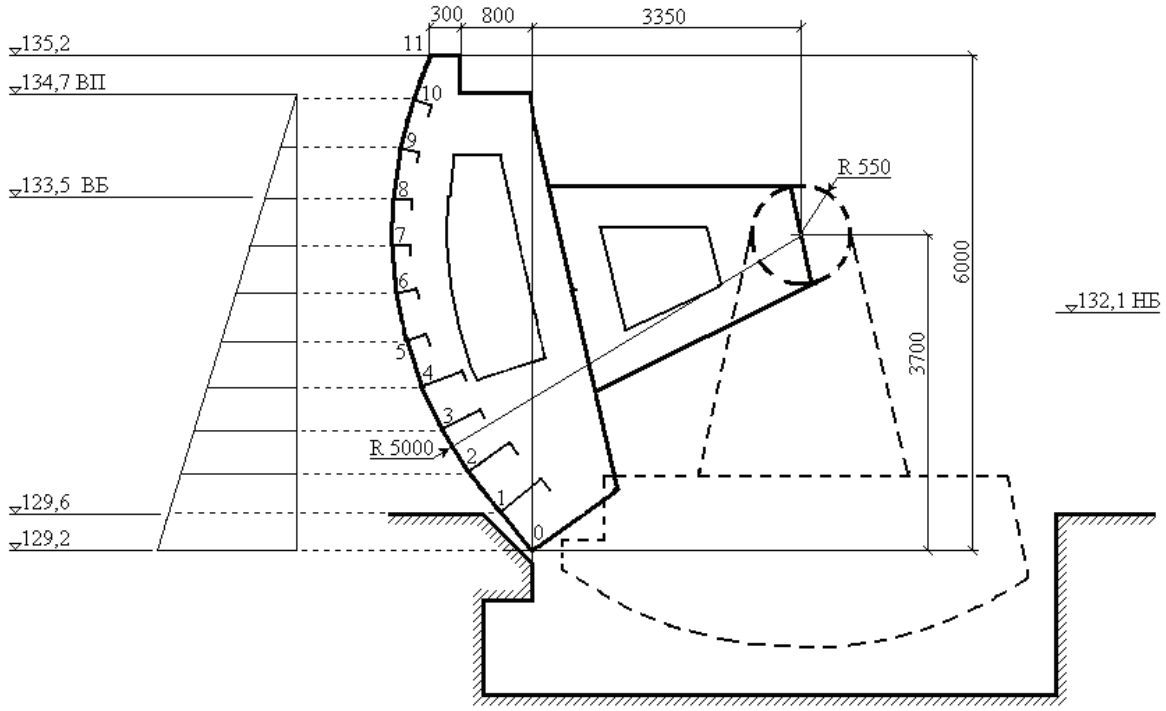


Рис. 1. Схема сегментного затвора

В данной работе предлагается другая математическая модель, основанная на аналитических решениях краевых задач теории ребристых оболочек.

2. Математическая модель. Рассмотрим пологую цилиндрическую панель, подкрепленную ребрами жесткости вдоль образующей. Будем считать, что оболочка имеет размеры в плане $0 \le x \le a$, $0 \le y \le b$. Стрингеры расположены вдоль линий $y = y_1$, $i = 1, 2, ..., M$ (рис. 2).

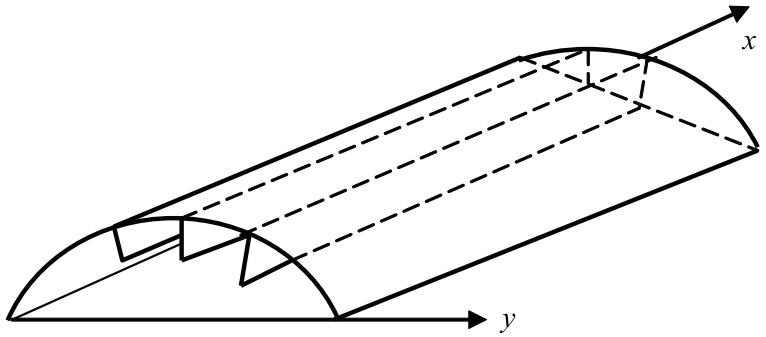


Рис. 2. Цилиндрическая панель, подкрепленная стрингерами

В основе исследования лежит основное разрешающее уравнение теории ребристых пологих оболочек в комплексной форме [2], которое для цилиндрической оболочки радиуса R имеет вид

$$\nabla^4\Psi+\frac{i\,\mathrm{n}}{R}\frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2}=\frac{q}{D}+\sum_{i=1}^{K_1}\left\{\frac{i\,\mathrm{n}E_{1i}}{Eh}\left[S_{1i}\frac{\partial^2\mathrm{w}}{\partial x^2}-\frac{F_{1i}}{Eh}\left(\frac{\partial^2\mathrm{F}}{\partial y^2}-\nu\frac{\partial^2\mathrm{F}}{\partial x^2}\right)\right]\delta''(y-y_i)+\right.$$

$$\left.+\frac{E_{1i}}{Eh}\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left[\frac{1}{Eh}\left(S_{1i}+\frac{i\nu F_{1i}}{Eh}\right)\left(\frac{\partial^2\mathrm{F}}{\partial y^2}-\nu\frac{\partial^2\mathrm{F}}{\partial x^2}\right)-\left(J_{1i}+\frac{i\nu S_{1i}}{\mathrm{n}}\right)\frac{\partial^2\mathrm{w}}{\partial x^2}\right]\delta(y-y_i)\right\},\qquad(1)$$

где

$$\Psi(x,y)=\mathrm{w}(x,y)-\frac{i\,\mathrm{n}}{Eh}\mathrm{F}(x,y),\ \mathrm{n}=\frac{\sqrt{12\left(1-\nu^2\right)}}{h},\ i=\sqrt{-1}.\qquad(2)$$

Здесь приняты обозначения: E — модуль Юнга, ν — коэффициент Пуассона и h — толщина гладкой оболочки (обшивки), D — цилиндрическая жесткость оболочки; E_{1i}, F_{1i}, S_{1i}, J_{1i} (i = 1, ..., K_1) — модули Юнга, площади поперечных сечений, статические и осевые моменты инерции поперечных сечений ребер, расположенных вдоль оси Ox; $w(x, y)$ — функция нормального прогиба; $F(x, y)$ — функция усилий; $q(x, y)$ — функция заданной поперечной нагрузки; $\delta(y, y_i)$, $\delta''(y, y_i)$ — δ-функция Дирака и ее вторая производная, сосредоточенные вдоль линий $y = y_i$; ∇^4 — бигармонический оператор $\left(\nabla^4\equiv\nabla^2\nabla^2\right)$, $\nabla^2\equiv\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}$ — оператор Лапласа.

Введем обозначения

$$f_{1i}(x,y)=\left[\frac{E_{1i}S_{1i}}{Eh}\left(\frac{\partial^2\mathrm{F}}{\partial y^2}-\nu\frac{\partial^2\mathrm{F}}{\partial x^2}\right)-E_{1i}J_{1i}\frac{\partial^2\mathrm{w}}{\partial x^2}\right],$$

$$g_{1i}(x,y)=\left[\frac{E_{1i}F_{1i}}{Eh}\left(\frac{\partial^2\mathrm{F}}{\partial y^2}-\nu\frac{\partial^2\mathrm{F}}{\partial x^2}\right)-E_{1i}S_{1i}\frac{\partial^2\mathrm{w}}{\partial x^2}\right].\qquad(3)$$

Тогда уравнение (1) примет вид

$$\nabla^4\Psi+\frac{i\,\mathrm{n}}{R}\frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2}=\frac{q}{D}+\frac{1}{D}\sum_{i'=1}^{K_1}\left\{\left[\frac{\partial^2 f_{1i'}}{\partial x^2}+\frac{i\nu}{\mathrm{n}}\frac{\partial^2 g_{1i'}}{\partial x^2}\right]\delta(y-y_{i'})-\frac{i}{\mathrm{n}}g_{1i'}\delta''(y-y_{i'})\right\}.\qquad(4)$$

3. Построение решения задачи. Станем рассматривать следующие представления функций:

$$f_{1,i}(x,y)=\sum_{m=1}^{\infty}f_{my}^{1,i}(y)\sin(\alpha_m x),\ g_{1,i}(x,y)=\sum_{m=1}^{\infty}g_{my}^{1,i}(y)\sin(\alpha_m x),$$

$$F(x,y)=\sum_{m=1}^{\infty}F_{my}(y)\sin(\alpha_m x),\ \mathrm{w}(x,y)=\sum_{m=1}^{\infty}\mathrm{w}_{my}(y)\sin(\alpha_m x),\qquad(5)$$

где $\alpha_m=\frac{m\pi}{a}$.

Пользуясь принципом суперпозиции, общее решение уравнения (4) запишем в виде

$$\Psi(x,y)=\Psi_q(x,y)-\sum_{m=1}^{\infty}\sin(\alpha_m x)\left\{\sum_{k=1}^{4}A_{mk}Z_{\alpha_m k}(y)+\right.$$

$$\left.+\frac{1}{D}\sum_{i'=1}^{K_1}\left[\alpha_m^2\left(f_{my}^{1i'}(y_{i'})+\frac{i\nu}{\mathrm{n}}g_{my}^{1i'}(y_{i'})\right)\Psi_{i'\alpha_m}^{*}(y)+\frac{i}{\mathrm{n}}g_{my}^{1i'}(y_{i'})\Psi_{i'\alpha_m}^{*}{}''(y)\right]\right\}.\qquad(6)$$

Здесь $\Psi(x, y)$ — какое-нибудь частное решение уравнения

$$\nabla^4\Psi_q+\frac{i\,\mathrm{n}}{R}\frac{\partial^2\Psi_q}{\partial x^2}=\frac{q}{D}.\qquad(7)$$

Это решение можно взять, например, в следующей форме

$$\Psi_q(x,y)=\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\Psi_{mn}\sin(\alpha_m x)\sin(\beta_n y),\ \alpha_m=\frac{m\pi}{a},\ \beta_n=\frac{n\pi}{b}, \tag{8}$$

где

$$\Psi_{mn}=\frac{q_{mn}}{D\left[\left(\alpha_m^2+\beta_n^2\right)^2-\frac{i\mathrm{n}}{R}\alpha_m^2\right]},\quad q_{mn}=\frac{4}{ab}\int_0^a\int_0^b q(x,y)\sin(\alpha_m x)\sin(\beta_n x)dxdy.$$

Функции $\Psi^*_{i'\alpha_m}(y),\ \Psi^*_{i'\alpha_m}{}''(y)$ — частное решение и его вторая производная уравнения

$$\nabla^4_{\alpha_m}\Psi^*_{i'\alpha_m}-\frac{i\mathrm{n}}{R}\alpha_m^2\Psi^*_{i'\alpha_m}=\delta(y-y_{i'}),\ \nabla^4_{\alpha_m}=\left(\frac{d^2}{dy^2}-\alpha_m^2\right)^2. \tag{9}$$

Частное решение уравнения (9) легко находится методом Лагранжа вариации произвольных постоянных. Будем иметь

$$\Psi^*_{i\alpha_m}(y)=\frac{\theta(y-y_i)}{z_2^2-z_1^2}\left[\frac{\mathrm{sh}(z_2(y-y_i))}{z_2}-\frac{\mathrm{sh}(z_1(y-y_i))}{z_1}\right],$$

$$\Psi^*_{i\alpha_m}{}''(y)=\frac{\left[z_2\,\mathrm{sh}(z_2(y-y_i))-z_1\,\mathrm{sh}(z_1(y-y_i))\right]}{z_2^2-z_1^2}\theta(y-y_i),$$

где $\theta(y-y_i)=\begin{cases}1,\ y>y_i,\\ 0,\ y\le y_i\end{cases}$ — единичная функция Хэвисайда, а z_1, z_2 — корни характеристического уравнения:

$$\lambda^4-2\alpha_m^2\lambda^2+\left(\alpha_m^4-\frac{in}{R}\alpha_m^2\right)=0,\ \lambda_{1,2}=\pm z_{1,m},\ \lambda_{3,4}=\pm z_{2,m},$$

$$z_{1,m}=\frac{1}{2}\sqrt{4\alpha_m^2+2\sqrt{i4\alpha_m^2\frac{n}{R}}},\quad z_{2,m}=\frac{1}{2}\sqrt{4\alpha_m^2-2\sqrt{i4\alpha_m^2\frac{n}{R}}}.$$

Функции $\left\{Z_{\alpha_m k}(y)\right\}$, k = 1, 2, 3, 4 — фундаментальные решения однородного уравнения (9). Они имеют вид

$$Z_{\alpha_m 1}(y)=\mathrm{ch}(z_{1,m}y),\ Z_{\alpha_m 2}(y)=\mathrm{sh}(z_{1,m}y),$$
$$Z_{\alpha_m 3}(y)=\mathrm{ch}(z_{2,m}y),\ Z_{\alpha_m 4}(y)=\mathrm{sh}(z_{2,m}y).$$

С учетом формул (3) и (5) будем иметь

$$f^{1,i}_{my}(y)=\sum_{s=1}^{\infty}\left[S^{(1)}_{ims}\tilde{\nabla}^2_{\alpha_s}F_{sy}(y)+J^{(1)}_{ims}\alpha_s^2\,w_{sy}(y)\right],$$

$$g^{1,i}_{my}(y)=\sum_{s=1}^{\infty}\left[F^{(1)}_{ims}\tilde{\nabla}^2_{\alpha_s}F_{sy}(y)+EhS^{(1)}_{ims}\alpha_s^2\,w_{sy}(y)\right],$$

где введены обозначения:

$$\tilde{\nabla}^2_{\alpha_m}F_{my}(y)=\frac{d^2F_{my}(y)}{dy^2}+\nu\alpha_m^2F_{my}(y),$$

$$J^{(1)}_{ims}=\frac{2}{a}\int_0^a E_{1,i}J_{1,i}(x)\sin(\alpha_m x)\sin(\alpha_s x)dx,$$

$$S^{(1)}_{ims}=\frac{2}{a}\int_0^a\frac{E_{1,i}S_{1,i}(x)}{Eh}\sin(\alpha_m x)\sin(\alpha_s x)dx,$$

$$F_{ims}^{(1)} = \frac{2}{a}\int_0^a \frac{E_{1,i}F_{1,i}(x)}{Eh}\sin(\alpha_m x)\sin(\alpha_s x)dx.$$

Общее решение (6) содержит неизвестные константы: A_{mk} — произвольные константы интегрирования; $f_{my}^{1,i}(y_i)$, $g_{my}^{1,i}(y_i)$ — значения сингулярных функционалов. Для определения этих констант вычисляем коэффициенты Фурье полученного общего решения и используем условия непрерывности функций и граничные условия задачи.

Коэффициенты Фурье решения имеют вид

$$\Psi_{my}(y) = \Psi_{my}^{q}(y) - \left\{\sum_{k=1}^{4} A_{mk} Z_{\alpha_m k}(y) + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{D}\sum_{i'=1}^{K_1}\left[\alpha_m^2\left(f_{my}^{1i'}(y_{i'}) + \frac{i\nu}{\mathrm{n}} g_{my}^{1i'}(y_{i'})\right)\Psi_{i'\alpha_m}^{*}(y) + \frac{i}{\mathrm{n}} g_{my}^{1i'}(y_{i'})\Psi_{i'\alpha_m}^{*}{}''(y)\right]\right\}.$$

Здесь используются представления

$$\Psi(x,y) = \sum_{m=1}^{\infty}\Psi_{my}(y)\sin(\alpha_m x),\ \Psi_q(x,y) = \sum_{m=1}^{\infty}\Psi_{my}^{q}(y)\sin(\alpha_m x),$$

$$\Psi_{my}(y) = \frac{2}{a}\int_0^a \Psi(x,y)\sin(\alpha_m x)dx,\ \Psi_{my}^{q}(y) = \frac{2}{a}\int_0^a \Psi_q(x,y)\sin(\alpha_m x)dx.$$

Кроме того, потребуются еще формулы

$$\tilde{\nabla}_{\alpha_m}^2\Psi_{my}(y) = \tilde{\nabla}_{\alpha_m}^2\Psi_{my}^{q}(y) - \left\{\sum_{k=1}^{4} A_{mk}\tilde{\nabla}_{\alpha_m}^2 Z_{\alpha_m k}(y) + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{D}\sum_{i'=1}^{K_1}\left[\alpha_m^2\left(f_{my}^{1i'}(y_{i'}) + \frac{i\nu}{\mathrm{n}} g_{my}^{1i'}(y_{i'})\right)\tilde{\nabla}_{\alpha_m}^2\Psi_{i'\alpha_m}^{*}(y) + \frac{i}{\mathrm{n}} g_{my}^{1i'}(y_{i'})\tilde{\nabla}_{\alpha_m}^2\Psi_{i'\alpha_m}^{*}{}''(y)\right]\right\}.$$

Нормальный прогиб оболочки $w(x, y)$ и функция усилий $F(x, y)$ выражаются через действительную $\mathrm{Re}[\Psi(x, y)]$ и мнимую $\mathrm{Im}[\mathrm{F}(x, y)]$ части функции $\Psi(x, y)$ по формулам

$$\mathrm{w}(x,y) = \mathrm{Re}\left[\Psi(x,y)\right],\ \mathrm{F}(x,y) = -\frac{Eh}{\mathrm{n}}\mathrm{Im}\left[\Psi(x,y)\right].$$

Введем обозначения для числовых констант

$$R_{si}^{(1)} = \mathrm{Re}\left[\Psi_{sy}(y_i)\right],\ I_{si}^{(1)} = \mathrm{Im}\left[\tilde{\nabla}_{\alpha_s}^2\Psi_{sy}(y_i)\right],\ i = 1,\ 2,\ \ldots, K_1,\ s = 1,\ 2,\ \ldots. \qquad (10)$$

Тогда значения сингулярных функционалов выразятся через эти константы по формулам

$$f_{my}^{1,i}(y_i) = \sum_{s=1}^{\infty}\left[J_{ims}^{(1)}\alpha_s^2 R_{si}^{(1)} - \frac{Eh}{\mathrm{n}} S_{ims}^{(1)} I_{si}^{(1)}\right],$$

$$g_{my}^{1,i}(y_i) = \sum_{s=1}^{\infty}\left[EhS_{ims}^{(1)}\alpha_s^2 R_{si}^{(1)} - \frac{Eh}{\mathrm{n}} F_{ims}^{(1)} I_{si}^{(1)}\right].$$

Таким образом, для определения констант (10) будем иметь следующие группы линейных алгебраических уравнений:

$$R_{mt}^{(1)} = \mathrm{Re}\left[\Psi_{my}^{q}(y_t)\right] - \left\{\sum_{k=1}^{4} A_{mk}\,\mathrm{Re}\left[Z_{\alpha_m k}(y_t)\right] + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{D}\sum_{i'=1}^{K_1}\left[\alpha_m^2 f_{my}^{1i'}(y_t)\mathrm{Re}\left[\Psi_{i'\alpha_m}^{*}(y_t)\right] + \frac{g_{my}^{1i'}(y_t)}{\mathrm{n}}\mathrm{Re}\left[i\eta_{i'\alpha_m}^{*}(y_t)\right]\right]\right\},\ m = 1,\ 2,\ \ldots,\ t = 1,\ 2,\ldots, K_1; \qquad (11)$$

$$I_{mt}^{(1)} = \mathrm{Im}\left[\Psi_{my}^{q}(y_t)\right] - \left\{\sum_{k=1}^{4} A_{mk}\,\mathrm{Im}\left[\tilde{\nabla}_{\alpha_m}^2 Z_{\alpha_m k}(y_t)\right] + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{D}\sum_{i'=1}^{K_1}\left[\alpha_m^2 f_{my}^{1i'}(y_{i'})\,\mathrm{Im}\left[\tilde{\nabla}_{\alpha_m}^2 \Psi_{i'\alpha_m}^{*}(y_t)\right] + \frac{g_{my}^{1i'}(y_{i'})}{\mathrm{n}}\mathrm{Im}\left[i\tilde{\nabla}_{\alpha_m}^2 \eta_{i'\alpha_m}^{*}(y_t)\right]\right]\right\}, \quad (12)$$

$$m = 1,\ 2,\ \ldots,\ t = 1,\ 2,\ \ldots, K_1.$$

Здесь введены обозначения

$$\eta_{i\alpha_m}^{*}(y) = \Psi_{i\alpha_m}^{*}{}''(y) + \nu\alpha_m^2 \Psi_{i\alpha_m}^{*}(y).$$

К выписанным группам уравнений (11), (12) необходимо добавить группы уравнений, построенные по граничным условиям. Выписывать их не будем. Отметим только, что форма решения (6) позволяет удовлетворить практически любым граничным условиям.

4. Числовой пример. Приведем результаты расчета пологой оболочки с размерами в плане $a \times b$, a = 8 м, b = 6 м; стрингеры расположены вдоль линий $y = y_i = \dfrac{ib}{M+1}$, i = 1, 2, ..., M, M = 10. Сечения стрингеров приняты:

— вдоль линий y_{10} и y_9: гнутые профили 600×150×12 мм;

— вдоль линий y_8, y_7 и y_6: гнутые профили 500×100×10 мм;

— вдоль линий $y_1 \div y_5$: прокатные неравнобокие уголки 160×100×10 мм.

Радиус кривизны оболочки $R = 5$ м; в качестве граничных условий принимались условия шарнирного опирания контура оболочки.

Поперечная нагрузка — гидростатическое давление, полный напор 6 м. В рядах удерживалось $M = N = 27$ членов.

Ниже приведены эпюры прогибов, изгибающих моментов и напряжений. Все расчеты выполнены в системе СИ: длина — метры; сила — Ньютоны; напряжение — Паскали.

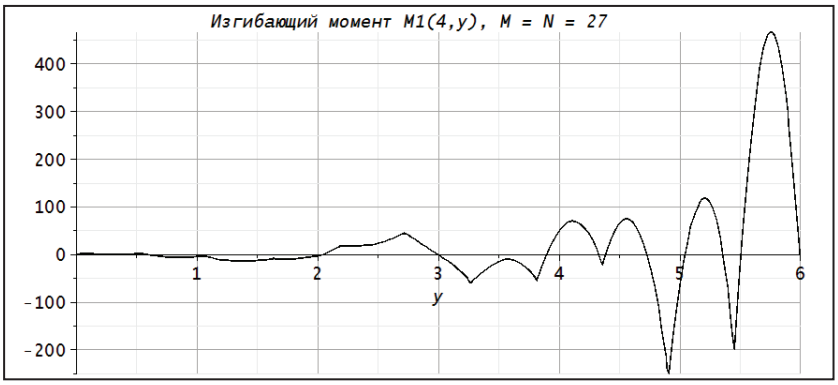


Рис. 3. Изгибающий момент в сечении x = 4 м

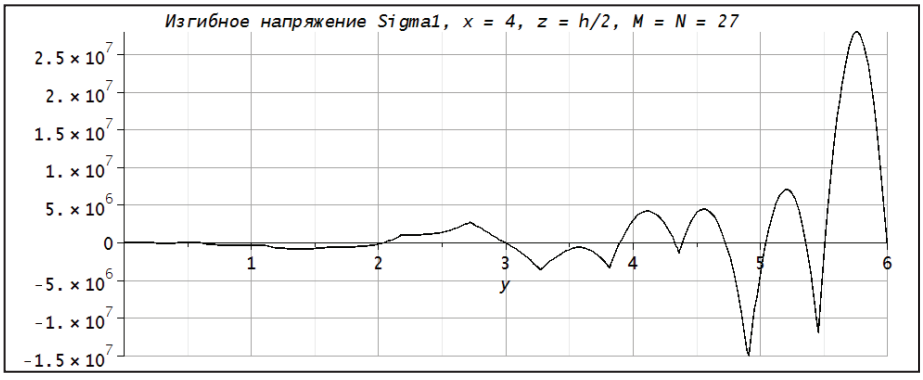


Рис. 4. Изгибное напряжение в сечении x = 4 м

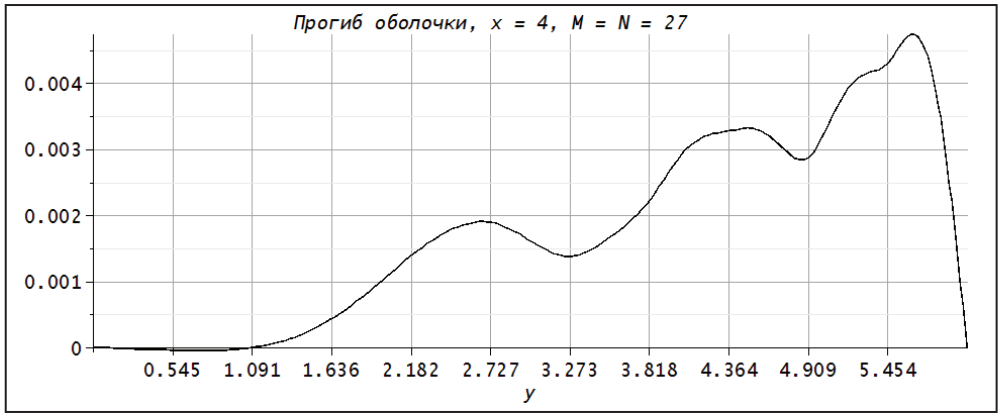


Рис. 5. Прогиб водоудерживающей обшивки в сечении $x = 4$ м

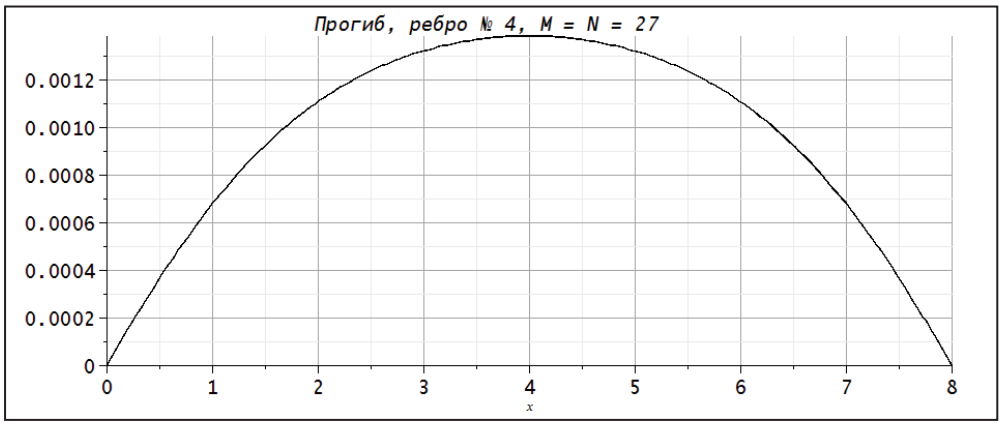


Рис. 6. Прогиб стрингера $y = 2{,}18$ м

5. Заключение. Первоначально задачи механики решались аналитическими методами. Непрерывное совершенствование вычислительной техники на некоторое время отвлекло исследователей от развития аналитических методов. Численные методы фактически вытеснили из практики аналитические методы решения технических задач.

Ситуация в корне изменилась с появлением и доступностью персональных компьютеров, а самое главное, с появлением мощных систем аналитических вычислений. Пожалуй, в наибольшей степени изменился характер и повысилась производительность умственного труда. В настоящее время все инженерные, конструкторские, экономические задачи можно решать на компьютере, причем в большинстве случаев совершенно нет необходимости заниматься программированием в традиционном смысле. Например, в системе аналитических вычислений Maple [3–5] пользователь имеет возможность выполнить все расчеты так, как он выполнил бы их на бумаге, причем все рутинные и трудоемкие вычисления (а главное, без ошибок и в формульном, аналитическом, виде!) берет на себя система Maple. Системы аналитических вычислений могут в корне изменить отношение к «забытым» аналитическим методам.

Как известно, реализация многих аналитических методов на цифровых компьютерах приводит к вычислительной неустойчивости большинства из них. Это связано с накоплением ошибок округления, возникающих при работе на множестве действительных чисел с ограниченным числом значащих цифр в мантиссе, которые реализуются на цифровых компьютерах. Простейший выход из подобной ситуации — увеличение количества значащих цифр, с помощью которых представляются числа на компьютере, но это дорогостоящая операция, которая в ближайшее время, по всей видимости, решена не будет.

Выход из такого затруднительного положения уже сейчас видится в использовании для некоторых числовых расчетов систем аналитических вычислений, в которых проблемы с ограниченным количеством значащих цифр в мантиссе действительного числа не существует [6, с. 14–21; 7, с. 8–15]. Например, в системе Maple можно осуществлять расчеты на множестве действительных чисел, имеющих до 500 значащих цифр в мантиссе своего представления. Это, естественно, скажется на скорости вычислений и потребует использования более мощного компьютера. Однако для многих аналитических алгоритмов, учитывая их простоту, увеличение времени расчета не играет большой роли, так как порядок разрешающей алгебраической системы уравнений во многих случаях не превышает 1000, позволяя получить удовлетворительный для практики результат.

Расчеты по данной работе выполнялись в системе аналитических вычислений Maple. В приведенном примере решалась система, состоящая из 540 алгебраических уравнений; в мантиссе числа удерживалось 45 знаков. Для сравнения, например, расчет такой конструкции МКЭ требует использования 2155 конечных элементов, расчетная схема содержит 1941 узел. Но, конечно, главное преимущество предлагаемой математической модели — получено аналитическое решение задачи в виде формулы, что позволяет легко и быстро просчитывать различные варианты конструкции, нагрузок и закреплений, то есть проводить оптимизацию конструкции.

Список литературы

1. Строительные нормы и правила СНиП II-23-81. — Ч. II: Стальные конструкции.

2. *Голоскоков Д. П.* Численно-аналитические методы расчета упругих тонкостенных конструкций нерегулярной структуры. — СПб.: Изд-во А. Кардакова, 2006. — 271 с.: ил.

3. *Матросов А. В.* Maple 6. Решение задач высшей математики и механики. — СПб.: БХВ-Петербург, 2001. — 528 с.

4. *Голоскоков Д. П.* Уравнения математической физики. Решение задач в системе Maple: учебник для вузов. — СПб.: Питер, 2004. — 540 с.

5. *Голоскоков Д. П.* Практический курс математической физики в системе Maple: учеб. пособие для вузов. — СПб.: ООО «ПаркКом», 2010. — 643 с.

6. *Матросов А. В.* Численно-аналитический расчет балок-стенок на линейно-упругом основании // Журнал университета водных коммуникаций. — 2011. — Вып. 2 (10).

7. *Матросов А. В.* Расчет балочных перекрытий численно-аналитическим методом // Журнал университета водных коммуникаций. — 2012. — Вып. 1 (13).

ЖУРНАЛ университета водных коммуникаций

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА

УДК 621.436.038.6

Л. В. Тузов,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК;

В. И. Брежнев,
аспирант,
СПбГГУ

АНАЛИЗ ТЕПЛОНАПРЯЖЕННОСТИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

ANALYSIS OF THERMAL STRESS DIESEL ENGINES

Основываясь на понятии «теплонапряженность», которая предполагает рассмотрение работоспособности и надежности дизелей.

Based on the concept of "calorific", which involves the consideration of efficiency and reliability of diesel engines.

Ключевые слова: теплонапряженность, теплонапряженность дизелей, дизель.
Key words: calorific, calorific diesel engines, diesel.

САМО представление о содержании термина «теплонапряженность» неоднозначно, отличаясь у разных авторов (учебников, монографий, статей) столь значительно, что по существу одним термином обозначаются различные по своим физическим и количественным характеристикам явления и воздействия, влияющие на работоспособность и надежность дизеля.

Так, например, проф. В. А. Ваншейдт [1] под теплонапряженностью рабочего цилиндра понимает «количество тепла, переходящее в час через 1 м^2 охлаждаемых поверхностей стенок: $g = \frac{Q}{F}$ Ккал/м^2 ч, то есть средний удельный тепловой поток. Далее там же указывается: «Критерием теплонапряженности рабочего цилиндра, помимо количества тепла, переходящего через единицу поверхности стенки, может служить осредненная температура внутренней поверхности стенок, которая является одним из основных факторов, определяющих работоспособность цилиндровой втулки». Также формулируется понятие теплонапряженности применительно к поршню, другим деталям и дизелю в целом.

Из тех же предпосылок исходит и проф. А. К. Костин, принимая за критерий теплонапряженности, как и В. А. Ваншейдт, средний удельный тепловой поток через стенки деталей и среднюю температуру поверхности стенки [2]. Основываясь на таких представлениях, выведена известная формула для оценки теплонапряженности поршня и всего двигателя, являющаяся в сущности модификацией зависимости осредненного теплового потока от параметров эффективности и экономичности:

$$g_{\text{П}} = bc_m^{0,5}(P_в g_в \frac{T_k}{T_0})^{0,88}(\frac{D}{P_k})^{0,38},$$

где b — 1,78 для двухтактного дизеля
и b — 1,0 для четырехтактного дизеля;
D — диаметр цилиндра, дм;
T_0 — 293 °К;
C_m — средняя скорость поршня, м/с;

$g_в$ — удельный расход топлива, кг/м^2;

$P_в$ — ср. эфф. давление кг/см^2;

P_k, T_k — давление и температура воздуха перед впускными органами.

В учебнике по теории двигателей интерпретация теплонапряженности: «Теплонапряженность деталей двигателя зависит от величины теплового потока через единицу площади поверхности или сечения детали, ее температуры, температурного градиента в стенках и температуры поверхностей трения. Каждый из указанных параметров в отдаленности не отражает теплонапряженности детали», и далее: «Средняя температура поверхности камеры сгорания, подсчитанная по эмпирическим зависимостям теплообмена от газов к стенке, не характеризует истинной температуры, вызывающей тепловые напряжения в детали. В действительности деталь разрушается под действием температурных напряжений, вызванных местным ее перегревом». Нельзя не согласиться с оправданностью приведенных в [3] соображений, которые вместе с тем отрицают возможность использования понятий теплонапряженности, введенных в [1, 2].

Очевидно, что при введении какого-либо понятия желательно возможно определеннее установить его содержание, сущность и пределы использования. В противном случае при упоминании одного и того же названия термина «теплонапряженность» в действительности имеют в виду разное и часто взаимоисключающее их содержание. Терминологическая неразбериха применительно к оценке напряженности имеет принципиальное значение, так как связана с неизбежностью однозначности подхода при рассмотрении работоспособности и надежности дизелей. Все это обусловливает необходимость оговорить содержание таких понятий, как «нагрузка» и «напряженность», в том числе и «теплонапряженность».

Под нагрузкой двигателя понимается величина крутящего момента или эквивалентная величина среднего эффективного давления. Нагрузка является одним из показателей режима работы двигателя. Тепловое состояние двигателя и его деталей характеризуется уровнем температур. Локальные, а не средние температуры деталей определяют температурное состояние детали и величину предела прочности материала, из которого она изготовлена. Общая напряженность двигателя, как интегральный критерий сравнительной оценки работоспособности двигателя, охватывает совокупное влияние теплонапряженности и механических напряжений.

Изыскание такого всеобъемлющего критерия — задача чрезвычайно сложная, до сих пор еще не решенная. Практически прибегают к упрощениям и использованию показателей, которые с различной степенью приближения отражают реальные условия работы деталей двигателя. Непосредственное измерение температур и температурных напряжений во время эксплуатации двигателя доступно лишь в условиях специальных исследовательских лабораторий. Но и эти измерения дают осредненные показатели на определенных установившихся режимах работы. Вместе с тем периодический характер рабочего процесса предопределяет пульсирующее воздействие механических нагрузок и тепловых потоков на стенки цилиндра, поршень и другие детали. Сами детали отличаются сложностью конструктивных форм, подвергаются различному по интенсивности воздействию тепловых потоков, что приводит к неравномерному распределению температур и напряжений в различных участках. Процесс теплопередачи усложняется воздействием теплопроводности, конвективного и лучистого теплообмена. Все это создает дополнительные трудности непосредственного определения теплонапряженности, показатели которой могут быть оценены с некоторыми приближениями при существенном упрощении действительной картины теплопередачи.

Расчеты всех основных деталей двигателя на прочность, как и сравнительная оценка напряженности различных двигателей, производятся применительно к установившимся режимам работы без учета циклических колебаний температуры, давления, крутящего момента и частоты вращения вала.

Строго говоря, двигатель никогда не работает в стационарном режиме. Чаще речь идет об установившемся или стационарном режимах, имеется в виду сохранение постоянства амплитуд показателей, изменение которых обусловлено импульсным характером рабочего процесса поршневого двигателя. Динамические напряжения, возникающие при периодическом изменении величин

усилий, могут явиться причиной перенапряжений деталей и появления усталостных деформаций. Все это указывает на необходимость учета влияния периодического изменения крутящего момента, давления и температур при оценке напряженности двигателя. В еще большей мере влияет на напряженность работа двигателя на неустановившихся и переходных режимах. Так, например, после пуска двигателя отмечается интенсивный рост сжимающих напряжений в головке поршня, затем при изменении нагрузки соответственно изменяются и напряжения. Колебание сжимающих и растягивающих напряжений могут явиться причиной появления трещин и даже разрушений наиболее напряженных участков деталей двигателя.

Характерные нестационарные условия работы судового двигателя возникают в штормовых условиях, при частых изменениях режимов работы, остановках и пусках, что является нормой для работы дизелей 12ЧН 18/20 на кораблях с подводными крыльями. После остановки с последующим пуском двигателя в течение некоторого времени сохраняется знакопеременный характер изменения напряжений, в широких пределах изменяется температура выпускных газов, температура поршня и втулки цилиндра. После перехода на установившийся режим параметры рабочего процесса сравнительно быстро стабилизируются, но в течение некоторого времени продолжают действовать переменные по величине и направлению напряжения. Чем резче переход от одного режима к другому, тем больше амплитуда колебаний температур и температурных напряжений. Колебательный характер изменения режимов работы, периодический процесс перехода от одного неустановившегося режима к другому, вызывая непрерывную нестационарность, создает условия повышенной напряженности в пределах допустимой нагрузки двигателя.

Экспериментальные исследования показывают, что на неустановившихся режимах величина тепловых потоков через днище поршня может превышать в 2,5 и более раз значения, зарегистрированные на установившемся режиме. Аналогично изменяются температурные напряжения днища поршня.

При рассмотрении причин поломок и повреждений, равно как и при анализе теплонапряженности деталей с целью оценки их надежности, недостаточно учитывать величины нагрузки, температур и температурных напряжений на установившемся режиме. Следует принимать во внимание также влияние нестационарности режимов, особенности использования двигателя в характерных условиях данной энергетической установки, обусловливающих определенный ритм и частоту изменения режимов работы, а следовательно, и определенную интенсивность воздействия нестационарности.

Разумеется, что реальные возможности учета нестационарности затруднительны не только вследствие недостаточной изученности воздействия нестационарного ™ на весь комплекс факторов, влияющих на надежность, отсутствия необходимых количественных взаимозависимостей, но также из-за многообразия проявлений нестационарности применительно к различным дизельным установкам.

Как уже указывалось выше, теплонапряженность является комплексным показателем, величину которого нельзя оценить однозначной величиной. Очевидно, что попытку количественно сопоставить уровни теплонапряженности различных деталей двигателя или разных двигателей каким-либо одним параметром нельзя признать правомерной.

При оценке теплонапряженности деталей следует учитывать уровни температур, температурных напряжений, условия работы, качество материала, особенности взаимодействия с другими элементами двигателя, условия охлаждения, смазки и т. д. Поэтому необходимо индивидуально подходить к учету всех перечисленных обстоятельств каждой рассматриваемой детали данного дизеля в конкретных эксплуатационных условиях.

В П/О «Звезда» проводились весьма ограниченные экспериментальные исследования теплонапряженности двигателей 12ЧН 18/20. Ограниченность экспериментов связана с тем, что, во-первых, исследованию подверглись не все многочисленные модификации дизелей 12ЧН 18/20, представляющие весьма широкий спектр двигателей различной форсировки, отличающиеся по мощности, частоте вращения, применяемой схеме и степени наддува, конструктивным особенностям,

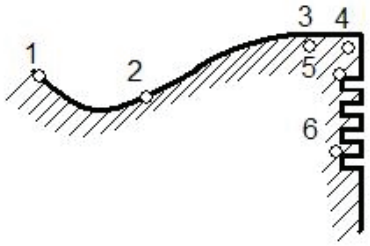
назначению и условиям эксплуатации. Во-вторых, исследование теплонапряженности ограничивалось регистрацией температурных полей. Поэтому с учетом полученных данных исследования можно лишь в первом приближении судить о тепловых условиях работы деталей двигателя и их теплонапряженности.

Наиболее напряженными в тепловом отношении являются детали цилиндропоршневой группы. Уровень максимальных температур детали характеризует условия работы материала, из которого изготовлена деталь, и предел прочности. Для алюминиевых сплавов, для которых изготовлены поршни дизелей 12ЧН 18/20, допустимые максимальные температуры, обеспечивающие длительную работу, находятся в пределах 350–400 °С. Максимальная температура отмечается в центральной части головки поршня и для разных модификаций двигателя составляет 250–350 °С.

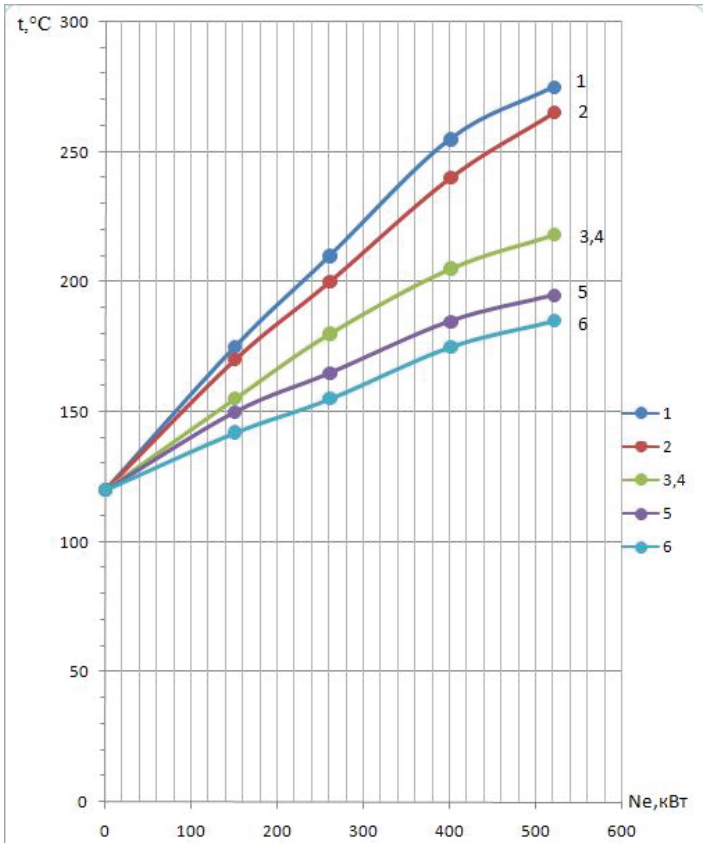
Таким образом, следует считать, что максимальная температура поршня не превышает рекомендуемых пределов. Но о работе поршня следует судить не только по максимальной и тем более не по средней температуре поверхности поршня, а прежде всего по температуре в зоне верхнего поршневого кольца. Если в районе канавки верхнего кольца температура превышает 220–240 °С, то при продолжительной работе двигателя создаются благоприятные условия для интенсивной полимеризации смазочного масла, пригорания кольца, повышенного прорыва газов в картер, перегрева нижних участков поршня, что может вызвать задиры поршня и гильзы цилиндра.

К таким же последствиям приводит интенсивное нагарообразование при повышенных температурах в зоне поршневых колец. Накопление нагара вызывает повышение потери на трение, усиление износа боковых поверхностей канавок. Предельно допустимая температура в зоне поршневого кольца зависит от качества смазочного масла и, в частности, от количества и эффективности антинагарных и моющих присадок.

Распределение температур в различных участках поршня дизеля 12ЧН 18/20 по данным исследования показано на рис. 1. На режиме нормальной мощности дизеля 500 кВт при 1500 об/мин температура в зоне канавки верхнего поршневого кольца составляет 195 °С, а максимальная температура поршня при этом не превышает 250 °С.



а



б

Рис. 1. Зависимость температуры t (°С) поршня двигателя 12ЧН 18/20 от нагрузки N_e (кВт) μ = 1500 мин

У дизеля М401 максимальная температура равна 280 °С, а средняя температура в зоне верхней канавки составляет примерно 225 °С (235 °С на верхней кромке и 215 °С на нижней кромке канавки). Схема распределения температур поршня М401 показана на рис. 2. Очевидно, что при перегрузке дизеля, что в условиях работы на кораблях с подводными крыльями случается весьма часто, температура в зоне верхнего поршневого кольца может превысить допустимую величину и вызвать указанные выше последствия. Отмечена характерная закономерность изменения температур деталей двигателей: чем выше температура данного участка на любом из промежуточных режимов работы двигателя, тем больше скорость повышения температуры при увеличении нагрузки. Во время разгона и выхода на крылотеплоходах «Ракета», «Метеор» и «Комета» дизель работает по внешней характеристике с большой перегрузкой. По статистике, в среднем ежедневно отмечается 120 выходов на крыло в день или 21 600 на навигацию. С учетом перегрузки и отмеченной зависимости скорости изменения температуры от нагрузки поршень работает в весьма напряженных условиях, что подтверждается относительно частыми отказами его во время эксплуатации. Так, например, из общего числа отказов прогары поршней и поломка поршневых колец составляют примерно 35 % у дизелей М400 и 20 % — у М401.

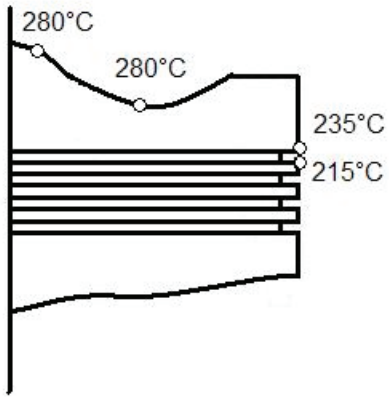


Рис. 2. Распределение температур *t* (°С) поршня М401

Применительно к дизелям 12ЧН 18/20 следует учитывать еще одну характерную особенность, которая может вызвать повышенную теплонапряженность поршня и других деталей. Известно, что между уровнем температур деталей двигателя и температурой выпускных газов отмечается прямая зависимость. Вместе с тем у дизелей 12ЧН 18/20 имеется значительное отклонение температур выпускных газов по отдельным цилиндрам и группам блоков. Так, например, при средней температуре выпускных газов 612 °С по группам цилиндра она составляет: 657 °С в первой группе цилиндров левого блока; 620 °С во второй группе цилиндров левого блока; 608 °С в первой группе цилиндров правого блока; 562° С во второй группе цилиндров правого блока.

Приведенные данные относятся к режиму $N_в$ = 450 кВт и n = 1500 об/мин. На номинальном режиме расхождение превышает 100 °С. Очевидно, что температура поршня в лимитирующих зонах также отличается в разных цилиндрах и это обстоятельство, безусловно, отрицательно сказывается на надежности дизеля в целом. Уровень температур цилиндровых гильз и головок цилиндра ниже температур поршня. Максимальные величины составляют соответственно 150 и 180 °С.

Следует учитывать, что экспериментально замеренные температуры деталей в стендовых условиях могут отличаться от температур тех же деталей в условиях эксплуатации, когда под воздействием нестационарности, периодических перегрузок, неравномерности распределения нагрузок и прочего фактические температуры и температурные напряжения могут значительно превосходить стендовые значения. Кроме того, полученная экспериментальная температура в одном из цилиндров может существенно отличаться от температур в других цилиндрах, особенно если учесть указанную неравномерность распределения нагрузок и температур выпускных газов дви-

гателей 12ЧН 18/20. Видимо, этим объясняется отличие приведенных на рис. 2 данных о температурах поршня от экспериментально полученного распределения температур на рис. 3, где максимальная температура поршня в центральной части днища составляет не 280, а 370 °С, хотя в зоне канавки верхнего поршневого пальца температура в этом случае не превышает 240 °С.

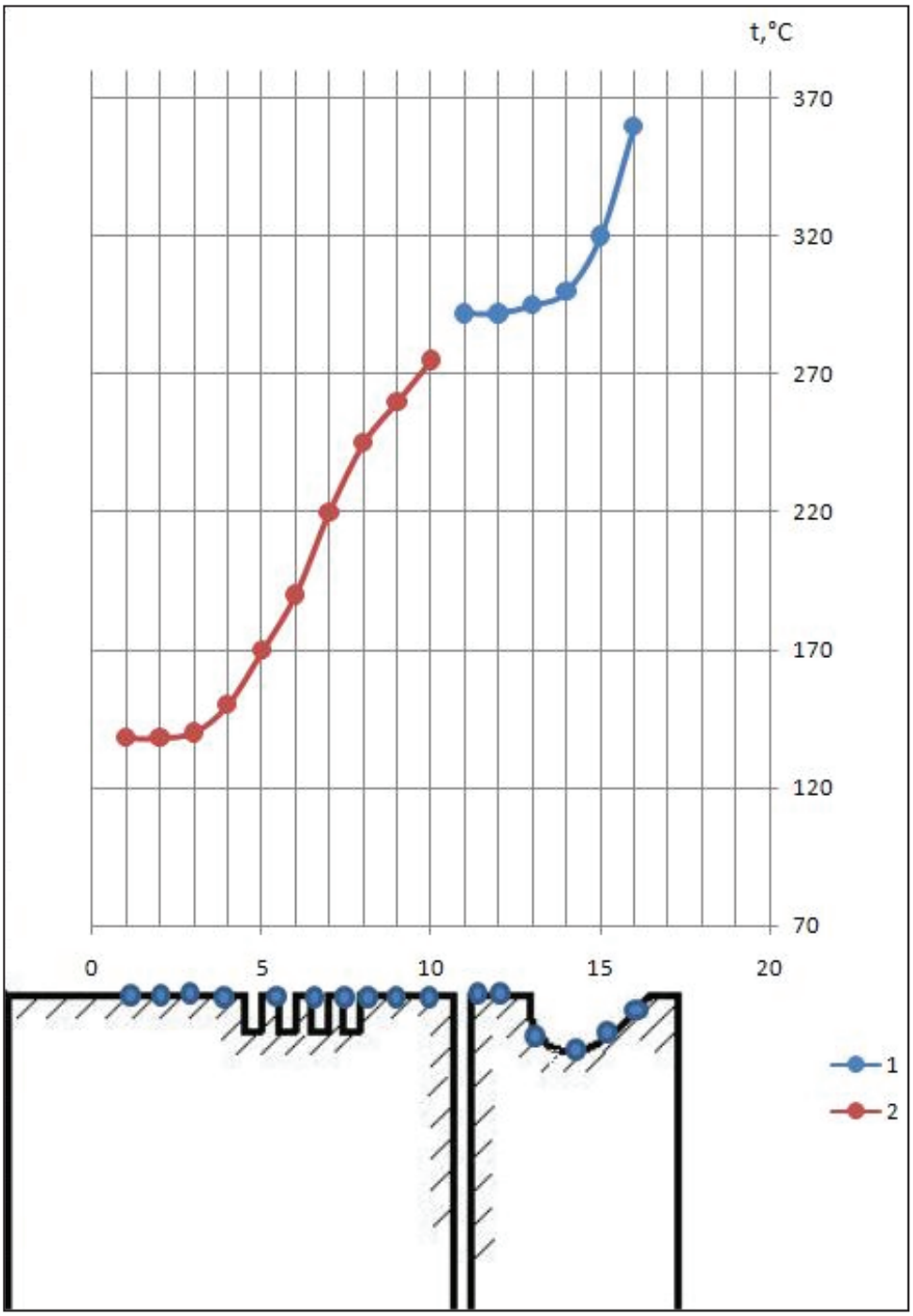


Рис. 3. Распределение температур *t* (°С) поршня двигателя 12ЧН 18/20

На рис. 4 приведены зависимости температуры деталей дизеля 12ЧН 18/20 от температуры охлаждающей воды (отличаются от приведенных на рис. 2 и 3). При $t_{в}$ = 90 °С температура поршня составляет: в центре днища 265 °С, в районе канавки верхнего кольца 220 °С. Максимальная температура крышки не превышает 180 °С, а температура гильзы цилиндра в районе остановки верхнего поршневого кольца в ВМТ составляет 145 °С.

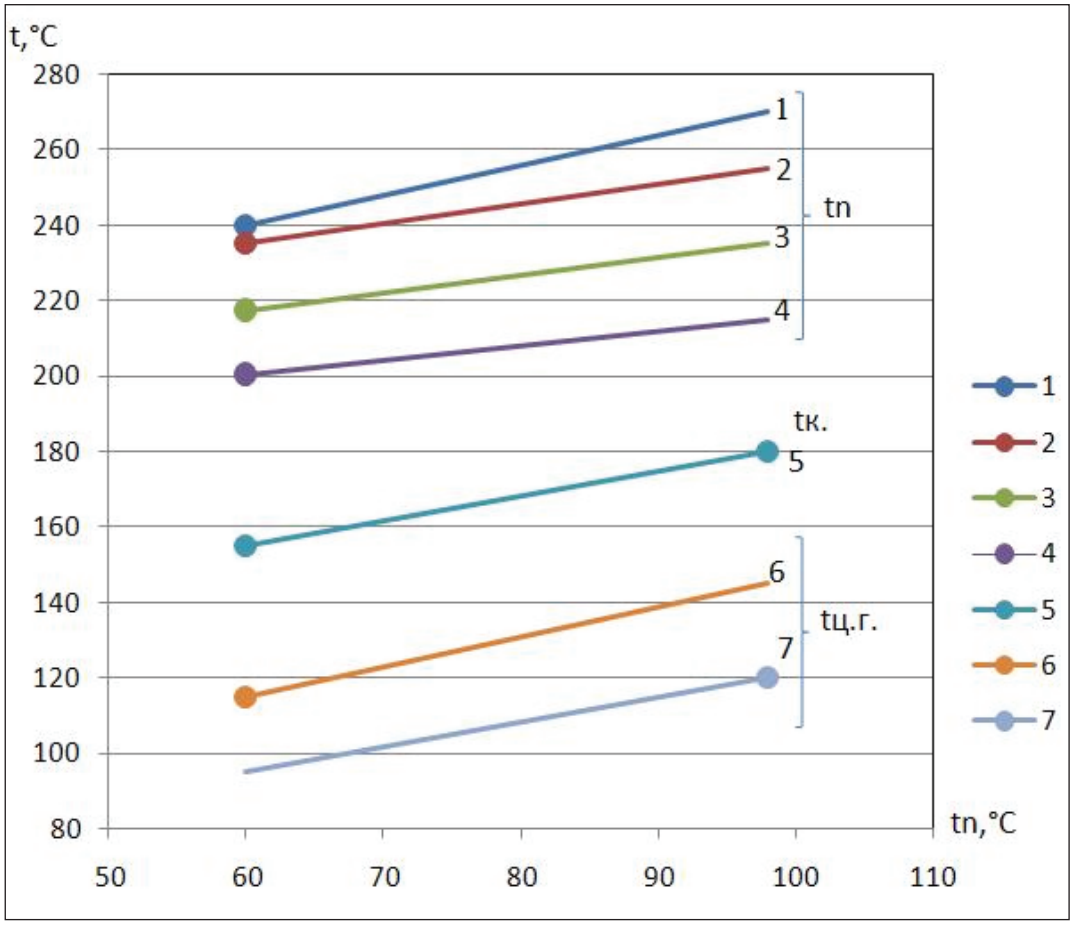


Рис. 4

Приведенные данные по термометрированию двигателей 12ЧН 18/20, полученные в исследовательских лабораториях завода, позволяют лишь весьма приблизительно судить о действительном состоянии теплонапряженности двигателей. Они отличаются неоднородностью полученных результатов и неполнотой информации, необходимой для суждения о степени теплонапряженности деталей разных модификаций двигателей 12ЧН 18/20 в эксплуатационных условиях.

Список литературы

1. *Ваништейдт В. А*. Судовые двигатели внутреннего сгорания / В. А. Ваништейдт. — Л.: Судостроение, 1977. — 392 с.

2. ДВС: Теория поршневых и комбинированных двигателей: учебник втузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Д. Н. Вырубов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин [др.]; под ред. А. С. Орлина, М. Г. Бруглова. — М.: Машиностроение, 1983. — 372 с.

3. *Брук М. А*. Инженерные основы эксплуатации ДВС: учеб. пособие / СЗПИ. — Л., 1976. — 248 с.

УДК 621.879.45.004

Ю. Е. Ежов,
канд. техн. наук, доцент,
СПГУВК;

Л. И. Погодаев,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК;

А. А. Кузьмин,
канд. техн. наук, профессор,
СПГУВК

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВЕДУЩИХ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ УСТРОЙСТВ СУДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ФЛОТА

RISING THE DURABILITI OF ESSENTIAL PARTS OF TECHNICAL WATERCRAFTS FUNCTIONAL MACHINERY

В статье рассмотрены вопросы, связанные с надежностью деталей основных рабочих устройств дноуглубительных земснарядов, грунтовых насосов, черпаковой цепи и прочего, подвергающихся интенсивному комплексному изнашиванию в неоднородных рабочих средах.

Повышение надежности деталей главных двигателей внутреннего сгорания на земснарядах представлено как часть общей проблемы повышения эффективности эксплуатации судов технического флота.

Отмечена целесообразность защиты поверхности деталей от изнашивания наплавкой износостойкими материалами, газотермическими покрытиями, а также пленками, образующимися на поверхностях деталей в результате использования смазочных композиций с реметаллизантами.

The article reviews the problem of durability of essential functional machinery parts of dredge ships, soil pumps, scoop chain, and other equipment that is exposed to intense complex wear in heterogeneous working environments.

Rising the durability of parts of dredge machines' main internal combustion engines is reviewed here as a component of the general problem of rising the effectiveness of technical watercrafts maintenance.

The article highlights the practicality of the part's surface protection from abrasion by welding with wear-resistant material, gas and thermal coating, as well as by film, formed as a result of use of re-metalizer lubricants.

Ключевые слова: технология восстановления, земснаряды, наплавочные материалы, энергетический критерий, гидроабразивное изнашивание, прогнозирование долговечности.

Key words: strengthening technology, dredger, braze welding materials, energetic criterion, hydro-abrasive wear, durability forecast.

ДЕТАЛИ рабочих устройств дноуглубительных снарядов-землесосов (з/с) и многочерпаковых земмашин (з/м), а также гидроперегружателей подвергаются в процессе эксплуатации весьма интенсивному изнашиванию [1; 5, с. 72–76; 6; 10, с. 166–171].

У землесосных снарядов гидроабразивному изнашиванию (ГАИ) подвергаются грунтовые насосы (рабочие колеса, облицовки корпуса, уплотнения, входные патрубки, крышки), а также детали механических разрыхлителей грунта. Скорость изнашивания элементов рабочих колес з/с в ряде случае достигает 0,1 мм/ч и более (при неоптимальных режимах работы з/с).

В зависимости от скорости смеси, крупности и формы твердых частиц грунта, содержащихся в двухфазной среде, ГАИ и поверхностное разрушение обтекаемых деталей может иметь несколько разновидностей: шлифующее воздействие среды, содержащей мелкий абразив; царапающее воздействие остроугольных абразивных частиц; ударно-абразивное воздействие потока, содержащего крупные включения гальки и гравия, и пр. Часто наблюдается изнашивание деталей от совместного воздействия твердых частиц и гидродинамической кавитации. При

этом интенсивность изнашивания стальных деталей может увеличиться в несколько раз [4, с. 53–60; 6].

У многочерпаковых з/м наибольший износ наблюдается у деталей шарнирного соединения черпаковой цепи, черпаков, соединительных звеньев и элементов нижнего барабана. В большинстве случаев детали подвергаются истиранию, коррозии и схватыванию сопряженных поверхностей при трении без смазки в присутствии абразивных частиц при высоких удельных давлениях и ударах [5; 6].

Самоходные з/с и з/м оснащены энергетическими установками, в состав которых входят судовые двигатели внутреннего сгорания (СДВС), ведущие детали которых, в свою очередь, также подвергаются различным видам изнашивания. В частности, наружные водоохлаждаемые поверхности цилиндровых втулок (ЦВ) дизелей подвергаются эрозии при вибрационной кавитации [2; 7; 8], а внутренние, так называемые зеркальные поверхности изнашиваются в результате контакта с деталями цилиндропоршневой группы (ЦПГ) в сложных условиях трения скольжения при возвратно-поступательном движении поршня [3, с. 56–64; 7; 11, с. 35–44].

Таким образом, для ответственных деталей рабочих устройств и главных двигателей земснарядов преобладающими являются следующие виды изнашивания:

1) гидроабразивное: детали грунтовых насосов; трубы и шарнирные (шаровые) соединения плавучих рефулеров длиной до одного километра;

2) абразивное: в абразивной массе (черпаки, соединительные звенья, нижние барабаны, фрезерные разрыхлители); при трении в присутствии абразивных частиц (шарнирные соединения черпаковой цепи);

3) кавитационное: рабочие колеса грунтовых насосов; водоохлаждаемые поверхности ЦВ и блоков цилиндров ДВС;

4) усталостное и окислительное — при трении скольжения, часто с заеданием: «зеркало» ЦВ; опоры скольжения валовой линии ДВС.

Более подробная схема, характеризующая разновидности изнашивания рабочих устройств з/с, особенности моделирования надежности (износостойкости и ресурса) ведущих деталей, а также способы их упрочнения и восстановления, представлена в табл. 1.

В связи с рассматриваемой общей проблемой надежности рабочих устройств судов технического флота важно отметить, что в Санкт-Петербургском государственном университете водных коммуникаций (СПГУВК), проводились и выполняются в настоящее время комплексные исследования по оценке влияния функциональных покрытий и защитных пленок на работоспособность деталей при кавитационной эрозии, трении скольжения, фреттинг-коррозии и других видах контактного взаимодействия.

Очевидно, что материалы (составы) покрытий и способы их нанесения (осаждения) на поверхности деталей очень разнообразны. Весьма распространенными являются технологии: наплавки и газотермического напыления широчайшего круга материалов, гальванопокрытий, высокотемпературного синтеза, различного рода обмазок и т. д. Все эти технологии нанесения покрытий можно назвать активными или первичными, в отличие от вторичных технологий (процессов), когда покрытия в виде пленок высаживаются из различного рода технологических сред в процессе эксплуатации машин и механизмов, например из смазочных материалов на поверхностях трибосопряжений в виде металлоплакирующих антифрикционных и восстанавливающих субстанций.

Значительный интерес представляют различные способы обработки покрытий в процессе нанесения или после него, например ультразвуковая, механоэлектрическая и химико-термическая (ХТО) обработка плазменных покрытий, а также их пропитка твердеющими составами для заполнения пор.

Таблица 1

Разновидности изнашивания и способы упрочнения и восстановления деталей рабочих устройств судов технического флота

<table>
<tr><td>№ п/п</td><td colspan="3">Объекты исследований</td></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="3">Землесосные снаряды. Многочерпаковые земмашины</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td colspan="3">Рабочие устройства механизмов и машин (РУ)</td></tr>
<tr><td>2.1. Грунтовые насосы (ГН)</td><td>2.2. Черпаковые цепи (ЧЦ)</td><td>2.3. Судовые энергоустановки (СЭУ)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td colspan="3">Быстроизнашивающиеся детали</td></tr>
<tr><td>3.1. Рабочие колеса (РК): облицовки, крышки насосов</td><td>3.2. Черпаковые пальцы (ЧП): втулки, кольца</td><td>3.3. Цилиндровые втулки ДВС (ЦВ): поршневые кольца (ПК), подшипники скольжения (ПС)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td colspan="3">Преобладающий вид изнашивания</td></tr>
<tr><td>4.1. Гидроабразивное изнашивание (ГАИ)</td><td>4.2. Истирание при высоких давлениях, ударах и при абразивной прослойке в трибосопряжениях</td><td>4.3. Износ при трении скольжения (ИТС) ЦВ, ПК и ПС коленвала. Гидроэрозия наружной поверхности ЦВ</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5</td><td colspan="3">Сопутствующие виды изнашивания</td></tr>
<tr><td>5.1. Гидроэрозия (кавитационная эрозия)</td><td>5.2. Схватывание (заедание) поверхностей деталей в трибосопряжениях: абразивная эрозия</td><td>5.3. Гидроэрозия (ГЭ) деталей в системе охлаждения ДВС</td></tr>
<tr><td>6</td><td colspan="3">Модели надежности (изнашивания)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">7</td><td colspan="3">Структурно-энергетические модели надежности материалов и РУ (СЭМН)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7.1. СЭМН при ГАИ деталей грунтовых насосов</td><td colspan="2">7.2. СЭМН материалов при трении скольжения с заеданием</td></tr>
<tr><td>7.3. ИТС без смазки</td><td>7.4. ИТС при использовании смазочных композиций (СК) (масло с добавками)</td></tr>
<tr><td>8</td><td colspan="3">Множественные корреляционные зависимости ИТС ЦВ ДВС</td></tr>
<tr><td rowspan="2">9</td><td colspan="3">СЭМН материалов и покрытий в жидких средах</td></tr>
<tr><td>9.1. При гидродинамической кавитации и эрозии РК</td><td>—</td><td>9.2. При вибрационной кавитации и эрозии ЦВ</td></tr>
</table>

Таблица 1
(*Окончание*)

<table>
<tr><td>10</td><td colspan="3">Способы повышения надежности деталей РУ</td></tr>
<tr><td rowspan="2">10.1</td><td>10.1.1. Для РК: замена углеродистой стали 25Л на легированную</td><td rowspan="2">10.1.3. Для ЧП: замена кованых пальцев на литые из стали Г13 с хромом, ванадием и титаном</td><td rowspan="2">10.1.4. Для деталей ЦПГ дизелей: новые СК с функциональными добавками</td></tr>
<tr><td>10.1.2. Новые наплавочные материалы</td></tr>
<tr><td rowspan="6">10.2</td><td colspan="3">Упрочнение деталей</td></tr>
<tr><td rowspan="5">10.2.1. Термообработка РК из новой легированной стали: электронаплавка</td><td rowspan="2">10.2.2. Электролизное борирование ЧП в расплаве буры</td><td>10.2.4. Электролизное борирование ЦВ</td></tr>
<tr><td>10.2.5. Газотермические покрытия (ГТП) ЦВ с обеих сторон</td></tr>
<tr><td rowspan="2">10.2.3. Наплавка износостойкими материалами</td><td>10.2.6. ГТП подшипников коленвалов</td></tr>
<tr><td>10.2.7. Сульфоцианирование поршневых колец ДВС</td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">10.3</td><td colspan="3">Восстановление деталей</td></tr>
<tr><td>10.3.1. Наплавка РК. Двухслойные покрытия</td><td rowspan="3">—</td><td rowspan="3">10.3.4. ГТП изношенных мест ПС на поверхностях трения</td></tr>
<tr><td>10.3.2. Нижний слой — наплавка; верхний — синтетическое покрытие</td></tr>
<tr><td>10.3.3. Низ прежний; верх — ГТП (самофлюс)</td></tr>
<tr><td rowspan="5">11</td><td colspan="3">Расчетно-экспериментальные методы</td></tr>
<tr><td colspan="3">11.1. Прогнозирование надежности по энергетическому критерию $W_{кр}$</td></tr>
<tr><td colspan="3">11.2. Прогнозирование надежности по аккумуляционному периоду накопления повреждений τ_{ak}</td></tr>
<tr><td rowspan="2">11.3. Согласование комплекса: грунтопровод–насос–двигатель для землесосов</td><td rowspan="2">—</td><td>11.4. Для ЦВ: оптимизация свойств ГТП</td></tr>
<tr><td>11.5. Расчет долговечности ЦВ при гидроэрозии</td></tr>
</table>

В процессе исследований методов нанесения различных покрытий и пленок, выполненных представителями научной школы трибологического направления СПГУВК, были получены следующие результаты.

1. Установлено, что работоспособность (надежность) газотермических покрытий и различного рода защитных пленок в трибосопряжениях в зависимости от их структуры и комплекса физико-механических, трибологических, противоизносных и других достаточно важных характеристик удовлетворительно моделируется и рассчитывается при любых видах контактного взаи-

модействия деталей, а также при динамическом воздействии на них неоднородных жидких и газообразных сред (потоков) на основании структурно-энергетического подхода [3; 8; 9].

Впервые созданные на синергетических принципах структурно-энергетические модели надежности компактных, а также пористых материалов и покрытий с единых позиций позволяют описать процессы самоорганизации диссипативных структур в различных условиях внешнего воздействия. При этом учитывается напряженно-деформированное состояние и неоднородность структуры, особенности масштабных переходов, фазовых превращений и предельная энергоемкость, когда происходит разрушение деформируемых сред при распространении в них волн упругих и пластических деформаций [7; 9; 10].

Структурно-энергетический подход позволил разработать эффективную методологию, позволяющую выявлять: физические модели разнообразных процессов разрушения компактных и пористых материалов (покрытий), важнейшие общие и частные зависимости, определяющие их надежность, и в итоге — работоспособность деталей [7; 10; 12].

Практическая значимость изложенного выше научного подхода заключается в открывающихся широких возможностях разработки конкретных методик расчета остаточного ресурса, долговечности и ремонтопригодности ответственных деталей с покрытиями и с защитными пленками в различных отраслях народного хозяйства: в двигателестроении, на транспорте, в оборонной промышленности и т. д.

Предложен новый параметр надежности компактных материалов, пористых покрытий и наплавок, представленный энергетическим критерием — критической плотностью потока мощности деформации, а также аккумуляционным периодом накопления повреждений при поверхностной усталости материалов и критической скоростью динамического нагружения [6; 9; 10; 12].

2. Разработан состав плакирующего концентрата, добавляемого в смазочные материалы и образующего на поверхностях трения наноструктурные металло-минералокерамические защитные пленки, снижающие потери мощности на трение, восстанавливающие сопряженные детали до номинальных размеров, переводя процессы трения и изнашивания в режимы, близкие к оптимальным по энергозатратам и к безызносности. Новый плакирующий концентрат содержит базовое масло и добавки в виде гидросиликата магния (серпентинита), тонкодисперсного порошка оловянистой бронзы, жирных карбоновых кислот и маслорастворимых диалкилдитиофосфатов металлов [13].

3. Разработан оптимальный химический состав и технология плазменного напыления антифрикционного покрытия на основе алюминия (АО16, 5М1,5) на тонкостенные вкладыши подшипников скольжения коленчатых валов судовых двигателей внутреннего сгорания [14].

4. Решена проблема предотвращения эрозии водоохлаждаемых поверхностей цилиндровых втулок судовых двигателей внутреннего сгорания за счет нанесения армированного стекложгутом эпоксипласта — теплоизоляционного эрозионно стойкого покрытия, позволяющего не только защитить наружную поверхность втулок от эрозии при вибрационной кавитации, но и сэкономить до 6 % топлива и смазки за счет оптимизации теплового режима работы двигателей, имеющих пониженную температуру охлаждающей воды на 10–25 °С ниже оптимальной [8; 11].

5. Выявлена высокая эффективность химико-термической обработки деталей из стали и чугуна с плазменно-напыленными покрытиями. В частности, газовая сульфонитроцементация детали из стали 45 с покрытием ПГ-19М-01 толщиной 1,0 мм и общей пористостью ~ 8 % привела к возникновению напряжений сжатия в покрытии, примерно в 2~2,5 раза превышающих его когезионную прочность. При этом адгезия покрытия к основе увеличилась примерно на порядок за счет заполнения дефектов переходной зоны продуктами сульфонитроцементации, в частности сульфидами меди. В стали под пористым покрытием сформировалась высокотвердая карбонитридная зона глубиной примерно 30 мкм, как и при сульфоцианировании детали без покрытия. Таким образом, химико-термическая обработка деталей с пористыми плазменными покрытиями позволяет примерно на два порядка увеличить общую толщину упрочненного слоя [9].

6. Разработана ресурсосберегающая технология автоматической наплавки стальных деталей порошковой проволокой ПП-Нп-10Х15Н2Т модулированным током с частотой модуляции: 0; 1,0; 1,7 и 2,4 $с^{-1}$. Полученные зависимости стойкости наплавок от уровня остаточных напряжений второго рода, плотности дислокаций, размера первичного зерна аустенита и микротвердости при гидро- и гидроабразивной эрозии подтвердили справедливость основных положений структурно-энергетической теории изнашивания материалов. За счет измельчения зерна, повышения микротвердости и уровня остаточных напряжений сжатия в металле, наплавленном при оптимальной частоте модуляции тока, кавитационно-эрозионная стойкость деталей возрастает в 1,5–2 раза, уменьшается количество дефектов и выравнивается поверхность наплавки, снижая интенсивность гидроабразивного изнашивания за счет устранения вихреобразования при обтекании препятствий в виде наплавленных валиков. При наплавке деталей модулированным током, за счет периодического отключения последнего, можно сэкономить до 30 % электроэнергии [12].

7. Разработаны расчетные методы прогнозирования, позволяющие оперативно выполнить расчет долговечности деталей, подвергающихся в процессе эксплуатации: интенсивной кавитационной эрозии (судовые гребные винты, водоохлаждаемые поверхности цилиндровых втулок и блоков ДВС); гидроабразивному изнашиванию (детали грунтовых насосов землесосных снарядов и гидроперегружателей); комплексному эрозионному воздействию: высокотемпературных потоков газов, твердых и жидких частиц сажи и шлаков, натрий-ванадиевой коррозии, ударно-абразивному изнашиванию и другим внешним разрушающим воздействиям (выпускные клапаны дизельных двигателей, работающие на тяжелых сортах топлива). Некоторые результаты практического внедрения научных разработок конкретизированы в табл. 2.

Результаты моделирования надежности рабочих устройств судов технического флота, накопленные данные лабораторных и натурных испытаний материалов и покрытий на износостойкость позволяют составить совокупность и алгоритмическую последовательность решения частных задач, предопределяющих успех решения общей задачи — повышения надежности рабочих устройств судов технического флота.

Таблица 2

Результаты практического внедрения научных разработок

№ п/п	Наименование детали	Материал, структура и твердость штатных деталей	Напряжение и деформации, виды изнашивания		Мероприятия	
			в детали (конструкции) на макро-уровне	на поверхности деталей при различных масштабных уровнях	материал (технология, структура, твердость)	эффективность
1	Кованые пальцы черпаковой цепи земмашин	Сталь Г13, аустенит, НВ 207...220 (исходная)	Изгиб и сжатие от макронагрузок в цепи	Сжатие, сдвиг, растяжение при абразивном воздействии и схватывании на макроуровне	Литые пальцы из сталей: Г13ХЗЛ, Г13Ф2Л и Г13ТЛ; аустенит + карбиды, НВ 220...240 (исходная)	Снижение макродеформаций в первый период работы. Повышение износостойкости в 2–3 раза за счет уменьшения зазоров в цепи и присутствия в аустенитной основе карбидов хрома, ванадия и титана. Перевод изнашивания с макро- на мезоуровень
2	Пластины и цевки пластинчатых цепей шлюзовых механизмов гидросооружений	Сталь 25 (прокат) — пластина: Сталь 50 (прокат) — цевка; НВ 187...207, улучшение	То же	Сжатие, сдвиг, растяжение при интенсивном схватывании на макроуровне	Поверхностная закалка пластины и цевки при нагреве ТВЧ. Сульфонитроцементация + поверхностная закалка (ТВЧ), мартенсит. HRC 52...56	Предотвращение больших пластических деформаций трущихся поверхностей и схватывания 1-го рода. Перевод работы узла трения с макро- на мезо- и микромасштабные уровни малоинтенсивного окислительного изнашивания (то же и для деталей шарниров черпаковой цепи з/с)
3	Быстроизнашивающиеся детали грунтовых насосов дноуглубительных снарядов	Сталь 25Л, феррит + перлит, НВ 170...180	Растяжение от центробежных сил, от воздействия грунтосмеси и ударов крупных фракций грунта	Гидроабразивное и кавитационное изнашивание на макро- и мезомасштабных уровнях	Сталь 30Х4Г2МТЛ, троостосорбит, HV 420...450, термообработка: нормализация	Компромиссное решение: повышение твердости и долговечности в 2–2,5 раза за счет «мягкой» термообработки, обеспечивающей надежность детали при макронагружении и позволяющей производить обработку резанием

Таблица 2
(*Окончание*)

4	Судовые гребные винты	Сталь 25Л, феррит + перлит, НВ 170...180	Изгиб и сжатие от воздействия среды; удары о посторонние предметы	Коррозионно-механическое, кавитационное изнашивание	Нержавеющая сталь 06Х14Г2ДРЛ Феррит + мартенсит; термообработка: нормализация и высокий отпуск; HV 220	Компромиссное решение: обеспечение требуемой прочности и вязкости разрушения на макроуровне при высокой коррозионной стойкости и повышенной долговечности в жидких средах на мезоструктурном уровне
5	Опоры скольжения коленвала двигателя типа 48НФД	Трехслойные антифрикционные покрытия фирмы “Miba”; основа (сталь 10) — БрС-ЗО, (А06) — гальванический Ni — баббит	Изгиб и сжатие от воздействия коленчатого вала	Заедание и абразивное воздействие; окислительное изнашивание	Плазменное покрытие (однослойное) А016М (Sn 16 %, Cu 0,8–1,5 % A1 — остальное)	Компромиссное решение: обеспечение требуемой циклической вязкости и когезионной прочности на макроуровне при установленном оптимальном содержании олова для достаточной антифрикционности и долговечности на микро- и мезоуровнях
6	Цилиндровые втулки ДВС со стороны охлаждения водой	Серый чугун, сталь 38ХМЮА HV: 180-200 и 300-330 соответственно	Динамический изгиб от ударов поршня при вибрациях стенки	Эрозия при вибрационной кавитации, коррозионное изнашивание	Композиционное покрытие — стеклоэпоксипластик	Устранение кавитационной эрозии втулки, увеличение ресурса, экономия топлива и масла до 9–10 %, уменьшение износа «зеркала» на 20–30 %
7	Трибосопряжения машин и механизмов	Моторные, трансмиссионные и другие масла, пластичные смазки	Сжатие, сдвиг (в «третьем теле» и на поверхности деталей)	Адгезионное, абразивное изнашивание; фреттинг — коррозия, питтинг эрозия	Новые СК на любой смазке с добавками реметаллизантов и геомодификаторов трения («Ресурс»)	Снижение потерь мощности на трение, восстановление изношенных поверхностей деталей, снижение расхода топлива и масла (в ДВС), увеличение ресурса

Список литературы

1. *Борщевский Ю. Т.* Повышение эффективности землесосных снарядов / Ю. Т. Борщевский, Л. И. Погодаев. — Киев: Будівельник, 1974. — 274 с.

2. *Борщевский Ю. Т.* Повышение кавитационной стойкости двигателей внутреннего сгорания / Ю. Т. Борщевский, Л. И. Погодаев. — Киев: Вища шк., 1980. — 208 с.

3. *Голубев Н. Ф.* Методические основы прогнозирования износостойкости цилиндровых втулок двигателей внутреннего сгорания / Ю. Т. Борщевский, Л. И. Погодаев // Проблемы машиностроения и надежности машин / РАН. — 1997. — № 5.

4. *Ежов Ю. Е.* Выбор и испытания наплавочных материалов для деталей грунтовых насосов: сб. науч. тр. / Ю. Е. Ежов // Судостроение и судоремонт. — Л.: ЛИВТ, 1990. — Вып. 3.

5. *Ежов Ю. Е.* Восстановление деталей земснарядов износостойкими наплавками / Ю. Е. Ежов, Л. И. Погодаев, Ю. В. Фролов // материалы XII Междунар. конф. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. — Ч. 1. — С. 72–76.

6. *Погодаев Л. И.* Режимы работы и долговечность, деталей, земснарядов / Л. И. Погодаев, Н. В. Лукин. — М.: Транспорт, 1990. — 192 с.

7. *Погодаев Л. И.* Теория и практика прогнозирования износостойкости и долговечности материалов и деталей машин / Л. И. Погодаев, Н. Ф. Голубев. — СПб.: СПГУВК, 1997. — 415 с.

8. *Погодаев Л. И.* Эрозия материалов и судовых технических средств в неоднородных жидких и газообразных средах / Л. И. Погодаев, А. А. Кузьмин. — СПб.: СПГУВК, 2004. — 237 с.

9. *Погодаев Л. И.* Структурно-энергетические модели износостойкости покрытий (ГТП) / Л. И. Погодаев, А. А. Кузьмин. — СПб.: СПГУВК, 2005. — 208 с.

10. *Погодаев Л. И.* Оценка относительной износостойкости высоколегированных наплавочных материалов по энергетическому критерию для защиты деталей грунтовых насосов от гидроабразивного изнашивания / Л. И. Погодаев, Ю. Е. Ежов, А. А. Кузьмин // Ресурсосберегающие технологии ремонта деталей машин: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. — СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2010.

11. *Погодаев Л. И.* Результаты статистического анализа опытных данных о надежности цилиндровых втулок двигателей 8ЧР24/36 / Л. И. Погодаев, Ю. Е. Ежов, В. В. Усачев // Трение и смазка в машинах и механизмах. — 2011. — № 11.

12. *Погодаев Л. И.* Структурно-энергетические модели надежности материалов и деталей машин / Л. И. Погодаев, А. А. Кузьмин. — СПб.: Академия транспорта РФ, 2006. — 587 с.

13. Пат. 2247768 РФ, МПК С1 ОМ 163/00. Минерало-металлокерамическая плакирующая смазочная композиция для трибосопряжений машин и механизмов (металлоплакирующий концентрат) / Погодаев Л. И., Кузьмин В. Н. Приоритет от 23.01.03.

14. Пат. 99026620 РФ, МПК 6С 29С 4/08. Материал для напыления антифрикционного покрытия / Погодаев Л. И., Хмелевская В. Б., Абрамов Г. А.; ВНИИПИ Госкомитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ России, 1996.

ЖУРНАЛ университета водных коммуникаций

УДК 621.396

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

СИНТЕЗ НАСТРАИВАЕМЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

SYNTHESIS OF ADJUSTED ELECTROTECHNICAL SYSTEMS

Рассматриваются задачи настройки электротехнических систем. Приводятся методы и алгоритмы определения минимальной совокупности настраиваемых параметров, пределов их изменения и максимально допустимых шагов квантования, основанные на использовании информации о границе области работоспособности.

Problems of control of electrotechnical systems are considered. Methods and algorithms of determination of the minimum set of adjusted parameters, limits of their change and the most admissible steps the quantizations based on use of information on border of area of working capacity are given.

Ключевые слова: настройка, электротехническая система, область работоспособности.
Key words: control, electrotechnical system, working capacity area.

СОГЛАСНО функционально-структурному анализу любая техническая система реализует определенную совокупность функций, среди которых выделяют целевую, основные и дополнительные функции. Их воспроизведение осуществляется совокупностью некоторых элементов, объединенных в соответствующую структуру. При взаимодействии элементов системы можно выделить процессы преобразования вещества, энергии и информации.

Под электротехнической системой с энергетической точки зрения будем понимать такую техническую систему, основным носителем информации в которой является электрическая энергия.

С функциональной и морфологической точек зрения под электротехнической системой (ЭТС) будем понимать упорядоченную совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих электротехнических устройств, образующих единое функциональное целое, предназначенное для решения определенной задачи. При этом согласно ГОСТ 18311-80 под электротехническим устройством понимается устройство, предназначенное для производства, преобразования, распределения, передачи и использования электрической энергии или для ограничения возможности ее передачи.

Любое электротехническое устройство (ЭТУ) с системных позиций также состоит из совокупности связанных между собой элементов. Отдельные элементы — это части или компоненты ЭТУ, предназначенные для выполнения определенных функций и не подлежащие дальнейшему разбиению на части.

Понятие элемента является весьма условным, и «расчленение» ЭТУ на элементы может быть произведено неоднозначно. В работе рассматриваются ЭТУ, элементами которых являются резисторы, конденсаторы, индуктивности, транзисторы, микросхемы и т. п. Это могут быть усилители, преобразователи, фильтры, корректирующие устройства и т. д., которые, в свою очередь, являются элементами ЭТС.

Состояние ЭТС характеризуется некоторым набором или вектором параметров, среди которых можно выделить:

— внутренние параметры $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \ldots, X_i, \ldots, X_n)$, определяющие допусковую область $D_{\mathbf{X}}$, которые характеризуют состояние комплектующих элементов ЭТС. Эти параметры называют также первичными параметрами системы;

— внутренние параметры $\mathbf{Z}^{\upsilon} = (Z_1^{\upsilon}, Z_2^{\upsilon}, \ldots, Z_g^{\upsilon}, \ldots, Z_c^{\upsilon})$, определяющие допусковую область $D_{\mathbf{Z}}$, которые характеризуют фазовые переменные на выходах элементов системы, $\upsilon = \overline{1,h}$, h — число элементов;

— выходные параметры $\mathbf{Y} = \left(Y_1, Y_2, \ldots, Y_j, \ldots, Y_m\right)$, определяющие допусковую область $D_{\mathbf{Y}}$, которые характеризуют различные функциональные зависимости фазовых переменных $\mathbf{Z} = \left(Z_1, Z_2, \ldots, Z_g, \ldots, Z_c\right)$ на выходе ЭТС.

Область допустимых изменений первичных параметров $\mathbf{X}$ (область работоспособности) $G = D_{\mathbf{X}} \bigcap M_{\mathbf{Z}} \bigcap M_{\mathbf{Y}}$ определяется неравенствами:

$$\begin{aligned} &Y_{j\min} \le Y_j = F_j(\mathbf{X}) \le Y_{j\max}, j = \overline{1,m} \to M_{\mathbf{Y}}; \\ &Z^v_{j\min} \le Z^v_j = F^v_j(\mathbf{X}) \le Z^v_{j\max}, v = \overline{1,h} \to M_{\mathbf{Z}}; \\ &X_{i\min} \le X_i \le X_{i\max}, i = \overline{1,n} \to D_{\mathbf{X}}, \end{aligned} \tag{1}$$

где $Y_{j\,\max}$ $(Z^v_{j\,\max})$, $Y_{j\,\min}$ $(Z^v_{j\,\min})$, $Y_j\,(Z^v_j)$ — соответственно максимально и минимально допустимые значения j-го выходного Y_j (внутреннего Z^v_j) параметра; F — оператор связи первичных параметров с внутренними Z^v и выходными Y параметрами; $X_{i\,\min}$ и $X_{i\,\max}$ — предельно допустимые значения первичных параметров. Области $M_{\mathbf{Z}}$ и $M_{\mathbf{Y}}$ являются соответственно отображением областей $D_{\mathbf{Z}}$ и $D_{\mathbf{Y}}$ в пространство первичных параметров системы. Их объединение определяет допусковую область M, $M = M_{\mathbf{Z}} \bigcap M_{\mathbf{Y}}$.

Область S, определяющая допустимые пределы изменения первичных параметров системы и классы точности ее комплектующих элементов, является частью области G в виде вписанного в нее гиперпараллелепипеда или гиперкуба максимально возможного объема или периметра (на рис. 1 показана пунктиром) или тождественно ей равна.

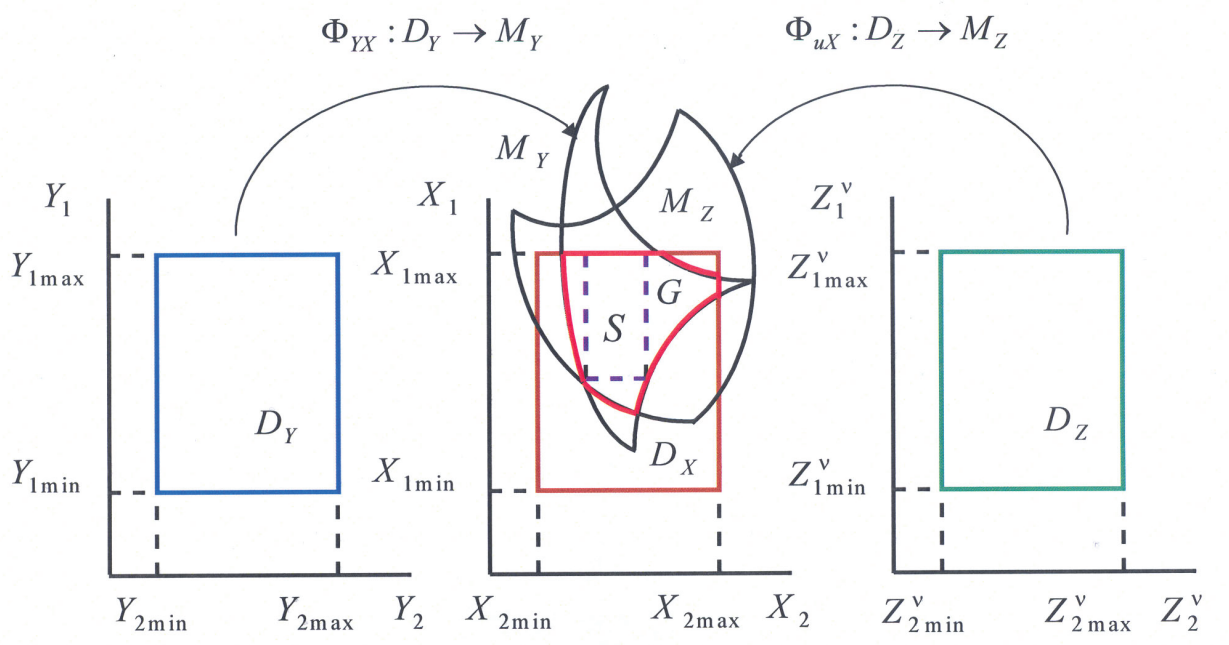


Рис. 1. Геометрическая иллюстрация условий работоспособности ЭТС

К большинству аналоговых ЭТУ предъявляются жесткие требования к допускам на их параметры. Реализация этих требований может привести к экономически невыгодным либо технологически трудновыполнимым расчетным значениям допусков на первичные параметры. В подобных случаях в технологический процесс изготовления ЭТУ вводится этап настройки, который предназначен для компенсации погрешностей параметров ЭТУ, появляющихся в процессе ее производства. Таким образом, целью введения этапа настройки в технологический процесс изготовления ЭТУ является расширение допусков на первичные параметры до экономически или технологических возможных значений по сравнению с ненастраиваемыми ЭТУ.

Введение в ЭТУ настраиваемых параметров позволяет на стадии производства оптимизировать работу ЭТС и обеспечивать ее работоспособное состояние на стадии эксплуатации.

Задачи параметрического синтеза долгое время никак не связывались с задачами настройки. Вместе с тем во многих случаях, несмотря на стремление создавать ЭТУ без элементов регулировки, настройка является единственным способом обеспечения заданных технических характеристик. Известным работам, в которых задачи настройки рассматриваются с позиций общего параметрического синтеза, присущи те же недостатки и ограничения, которые имеют место при анализе работ, посвященных параметрическому синтезу ЭТС [1].

Сформулируем основные задачи настройки ЭТС и рассмотрим пути их решения с позиций общего параметрического синтеза на базе методологии, основанной на информации о границе области работоспособности [1].

К основным задачам настройки относятся:

— выбор совокупности параметров, которыми наиболее целесообразно осуществлять регулировку;

— определение необходимых диапазонов изменения и максимально допустимых шагов квантования (МДШК) настраиваемых параметров;

— определение моментов времени, в которые необходимо осуществлять эксплуатационные регулировки;

— определение оптимальных значений параметров, устанавливаемых в процессе настройки, с учетом последующих временны́х изменений этих параметров.

Рассмотрим методы и алгоритмы решения первых двух задач.

Определение совокупности настраиваемых параметров

Одной из основных задач оптимального параметрического синтеза настраиваемых ЭТС является задача выбора параметров, которыми наиболее целесообразно осуществлять производственную и эксплуатационную регулировку [2, с. 13–19]. Для решения этой задачи прежде всего требуется определить критерий оценки настроечной способности регулировочных параметров. Следуя работе [3], представим пространство R^n, определяемое областью $D_{\mathbf{X}}$ возможной вариации первичных параметров, в виде двух непересекающихся и непустых подмножеств:

$$D_{\mathbf{X}} = D_{\mathbf{X}v} + D_{\mathbf{X}c},\ D_{\mathbf{X}v} \cap D_{\mathbf{X}c} = \varnothing,$$

при этом все элементы множества $D_{\mathbf{X}v}$ ортогональны элементам множества $D_{\mathbf{X}c}$.

В качестве $D_{\mathbf{X}v}$ выберем множество настраиваемых параметров $\mathbf{X}v$ регулируемых элементов ЭТС размерностью k, а в качестве $D_{\mathbf{X}c}$ — подмножество ненастраиваемых параметров $\mathbf{X}c$ размерностью $h = n - k$.

Любой случайный вектор параметров $\mathbf{X}$ однозначно раскладывается на сумму ортогональных векторов:

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}v + \mathbf{X}c,\ \mathbf{X}v \in D_{\mathbf{X}v},\ \mathbf{X}c \in D_{\mathbf{X}c},\ \mathbf{X} \in D_{\mathbf{X}}.$$

Слагаемые в последнем выражении можно рассматривать как проекции вектора $\mathbf{X}$ на подмножества $D_{\mathbf{X}v}$ и $D_{\mathbf{X}c}$. При этом

$$\mathbf{X}v = \Pi p_{\mathbf{X}v}\mathbf{X},\ \ \mathbf{X}c = \Pi p_{\mathbf{X}c}\mathbf{X}.$$

Пусть поступившее на этап настройки ЭТУ характеризуется вектором первичных параметров $\mathbf{X}u \in R^n$, который не удовлетворяет условиям работоспособности (1), то есть $\mathbf{X}u \notin G$.

В этом случае настройка сводится к поиску вектора настраиваемых параметров устройства $\mathbf{X}v_0 \in D_{\mathbf{X}v}$, с помощью которого можно осуществить переход от вектора $\mathbf{X}u$ к вектору $\mathbf{X}_0 = \mathbf{X}c + \mathbf{X}v_0$, $\mathbf{X}_0 \in G$ той же размерности.

Известным критерием оценки настроечной способности является вероятность

$$H_v = P\left\{\Pi p_{\mathbf{X}v}\mathbf{X}u \in \Pi p_{\mathbf{X}v}M\right\} = \int_{\Pi p_{\mathbf{X}v}M}^{n-k} \ldots \int P(\mathbf{X}c)d(\mathbf{X}c),$$

называемая настроечным ресурсом [3], где $P(\mathbf{X}c)$ — плотность распределения вероятности ненастраиваемых параметров элементов ЭТУ.

Непосредственное использование этого критерия возможно лишь в частных случаях, когда область работоспособности имеет достаточно простую конфигурацию. Кроме того, необходимо наличие статистической информации о производственных и эксплуатационных отклонениях параметров от своих номинальных значений.

На практике обычно известны лишь минимальные $X_{i\min}$ и максимальные $X_{i\max}$ пределы возможных вариаций первичных параметров, которые определяются исходными допусками ЭТУ (брус $D_{\mathbf{X}}$), а также область работоспособности G или аппроксимирующая ее область S, определяющая допустимые пределы изменения первичных параметров в виде

$$S = \left\{ \mathbf{X} \middle| \; \mathrm{X}_{i\min}^{s} \le \mathrm{X}_i \le \mathrm{X}_{i\max}^{s} \right\}, \; i = \overline{1,\mathrm{n}}.$$

и называемая брусом допусковых отклонений, или брусом допусков.

Заданные допуски определяются из условий правильного функционирования ЭТУ на выходе всего технологического процесса изготовления, то есть после этапа настройки ЭТУ, и номинальными, расчетными значениями этих параметров.

Необходимость настройки обусловлена тем, что брус $D_{\mathbf{X}}$ выходит за пределы области работоспособности (или за пределы бруса S), при этом настройке должны подлежать такие реализации первичных параметров, которые находятся за пределами области G, то есть в области $D_{\mathbf{X}}^{-} = D_{\mathbf{X}} / (D_{\mathbf{X}} \bigcap G) \neq \varnothing$.

Таким образом, задача заключается в выборе из подмножества $\mathbf{X}u$ такой минимальной совокупности настраиваемых параметров $\mathbf{X}v$, принадлежащих области допустимых значений $D_{\mathbf{X}}^{v}$, являющейся сечением бруса допусков $D_{\mathbf{X}}$, которая обеспечила бы возможность настройки ЭТУ из любой точки бруса $D_{\mathbf{X}}^{v} \subset D_{\mathbf{X}}$.

Необходимым условием решения этой задачи является наличие непустого множества, образующегося в результате пересечения бруса $D_{\mathbf{X}}^{v}$ и области работоспособности G, то есть $D_{\mathbf{X}}^{v} \bigcap G \neq 0$.

Рисунок 2 поясняет стратегию настройки для простейшего случая, когда ЭТУ характеризуется лишь двумя первичными параметрами. В дополнение к рис. 1 здесь представлена еще одна допусковая область $Q_{\mathbf{X}}$, описывающая область M и имеющая вид бруса (в рассматриваемом случае — прямоугольника). Области $D_{\mathbf{X}}$, $Q_{\mathbf{X}}$ и S определяются следующими неравенствами:

$$D_{\mathbf{X}} = \{X_{1\min} \le X_1 \le X_{1\max};\; X_{2\min} \le X_2 \le X_{2\max}\};$$
$$Q_{\mathbf{X}} = \left\{X_{1\min}^{q} \le X_1 \le X_{1\max}^{q};\; X_{2\min}^{q} \le X_2 \le X_{2\max}^{q}\right\};$$
$$S = \left\{X_{1\min}^{s} \le X_1 \le X_{1\max}^{s};\; X_{2\min}^{s} \le X_2 \le X_{2\max}^{s}\right\}.$$

Пересечение областей $Q_{\mathbf{X}}$ и $D_{\mathbf{X}}$ определяет область Q, которая также имеет вид бруса и описывает область работоспособности G. Область $Q = D_{\mathbf{X}} \bigcap Q_{\mathbf{X}}$ определяется следующими неравенствами:

$$Q = \left\{X_{1\min}^{g} \le X_1 \le X_{1\max}^{g};\; X_{2\min}^{g} \le X_2 \le X_{2\max}^{g}\right\},$$

где $X_{i\min}^{g} = X_{i\min}^{q}$, если $X_{i\min}^{g} > X_{i\min}$ и $X_{i\min}^{g} = X_{i\min}$, если $X_{i\min}^{g} \le X_{i\min}$, $i = 1, 2$.

Предположим, что значения первичных параметров ЭТУ характеризуются точкой *1* или *2* (рис. 2). В этом случае для решения задачи достаточно выбрать любой настроечный параметр. При его изменении, как видно из рис. 2, гарантируется попадание в область G. Если область работоспособности задана брусом S, то успешная настройка возможна лишь из точки *2* при изменении параметра X_2. Для точки *3* обойтись одним настроечным параметром X_1 или X_2 не представляется возможным, а для точки *4* настроечным может быть только параметр X_2.

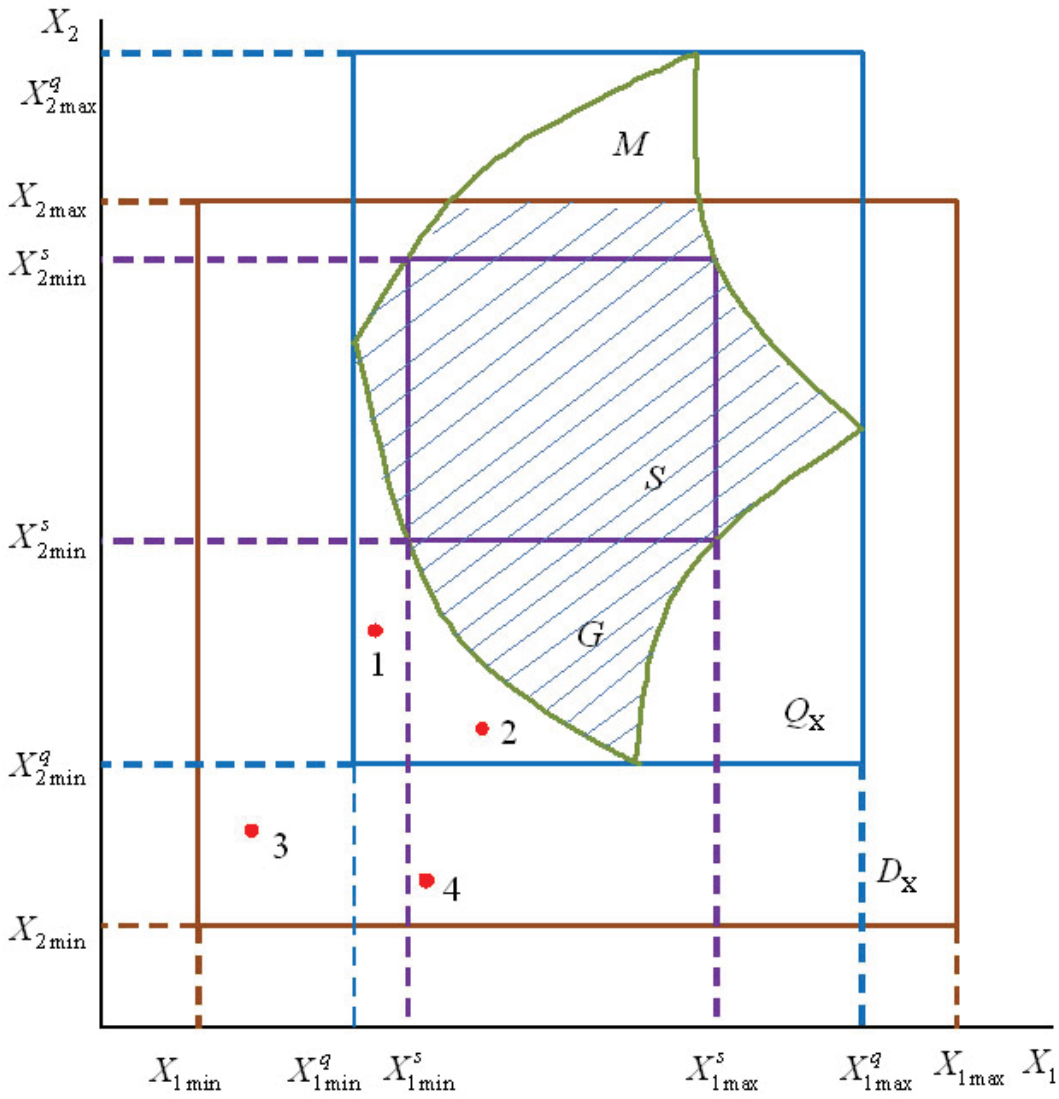


Рис. 2. Иллюстрация возможных вариантов при настройке ЭТС

При увеличении размерности пространства параметров **X***v* от 1 до *n* вероятность успешной настройки стремится к единице, $H_v \to 1$. Получим более удобную для практики формулу для расчета этой вероятности.

Сопоставим между собой допуски, определяемые допусковыми областями $D_{\mathbf{X}}$ и Q. Для k настраиваемых параметров объем областей $D_{\mathbf{X}}^{n-k} = D_{\mathbf{X}}^{h}$ и $Q^{n-k} = Q^{h}$, определяемых множеством ненастраиваемых параметров **X***c*, рассчитывается по формулам:

$$D_{\mathbf{X}}^{h} = \prod_{i=1}^{h}\left(X_{i\max} - X_{i\min}\right), \quad Q^{h} = \prod_{i=1}^{h}\left(X_{i\max}^{g} - X_{i\min}^{g}\right).$$

Таким образом, вероятность успешной настройки можно приближенно вычислить по формуле

$$H_{\mathrm{v}} = Q^{h} / D_{\mathbf{X}}^{h}.$$

Предлагаемый алгоритм выбора совокупности настраиваемых параметров ЭТУ сводится к выполнению следующих операций.

Этап 1. Задаются вероятностью успешной настройки H'_v и формируют исходную совокупность настраиваемых параметров **X***v*. В зависимости от величины H'_v на первом этапе рекомендуется в эту совокупность включить один или два первичных параметра. Выбор этих

параметров основывается на априорных данных об их влиянии на выходные параметры системы и осуществляется на основании известных правил [4, с. 57–64]. Критерием выбора является $\max H_v$.

Этап 2. Известными методами [1; 5, с. 58–69], осуществляется поиск точки, принадлежащей сечению G^h области работоспособности в пространстве R^h выбранных настраиваемых параметров. В том случае если $G^h = \varnothing$, увеличивают размерность пространства параметров $\mathbf{X}v$ на единицу и вновь переходят к выполнению этапа 2.

Данная процедура выполняется до тех пор, пока не будет получена точка $R \in R$. Совокупность первичных параметров, полученная в результате поиска, и принимается в качестве искомой совокупности. Выбор $H'_v < H_v$ гарантирует, что в результате поиска будет выполняться условие $R^k < R^n$.

На основе рассмотренного алгоритма разработана методика, которая позволяет назначать исходные допуски и определять совокупность настраиваемых элементов ЭТС и ЭТУ с учетом технологического разброса параметров комплектующих элементов и внешних, возмущающих воздействий. Рассмотрим сущность методики.

Решение задачи разбивается на два этапа. Вначале отбирается группа элементов, предположительно используемых при настройке, а затем проверяется выполнение для этих элементов всех необходимых требований. Если все требования выполняются, то есть выбранные элементы обеспечивают возможность обеспечения работоспособного состояния ЭТС, то проблема выбора элементов настройки считается решенной. В противном случае необходимо вновь перейти к первому этапу. Выбор исходной группы элементов производится согласно рассмотренному алгоритму по правилу, изложенному в работе [4]. Процедура проверки выполнения требований осуществляется с помощью статистического моделирования и сводится к следующему.

Определяются доверительные пределы изменения выходного параметра Y_j. С этой целью из множества комплектующих элементов настраиваемого ЭТУ формируется υ комплектов активных элементов (транзисторы, операционные усилители, микросхемы) с произвольными значениями параметров и один комплект пассивных элементов (сопротивления резисторов, емкости конденсаторов, индуктивности катушек) с номинальными значениями параметров. Комплект составляет минимальное количество элементов, используемых без резервирования в устройстве. Рекомендуется выбирать υ в пределах от 25 до 50 [4]. Производится сборка макета устройства из пассивных элементов и одного μ-го комплекта активных элементов ($\mu = \overline{1,\upsilon}$). Определяется значение выходного параметра $Y_j(\mu)$, $\mu = \overline{1,\upsilon}$.

С целью учета влияния условий эксплуатации устройство подвергают соответствующему воздействию $v \in \mathbf{v}(t)$, например его помещают в термокамеру, нагревают до заданной температуры и выдерживают в ней требуемое время. После этого определяются значения выходных параметров $Y_j(\mu, v)$ для каждого из комплектов активных элементов. В результате выполненных операций получается совокупность значений выходного параметра Y_j размерностью $\upsilon(v + 1)$. Поскольку каждый член этой совокупности является реализацией случайной величины, в качестве которой выступает комплект активных элементов, то можно найти закон ее распределения. Задавшись значением вероятности работоспособного состояния устройства и зная закон распределения параметра $Y_j(\mu, v)$, можно определить его доверительные пределы изменения, которые обеспечивают это значение вероятности. Доверительными пределами являются значения параметра Y_j, составляющие наименьший интервал, по которому необходимо интегрировать плотность вероятности работоспособного состояния устройства. Для других выходных параметров их доверительные пределы устанавливаются аналогично.

Определяется совокупность настраиваемых элементов. Для этого из семейства пассивных элементов выбирается элемент, параметр которого X_1 в наибольшей степени влияет на выходные параметры устройства и принципиально может быть использован в качестве настраиваемого элемента. Если параметр X_1 при изменении его в допустимых пределах полностью перекрывает доверительные пределы для всех выходных параметров $Y_j(j = \overline{1,m})$, то он выбирается в качестве настраиваемого параметра и процедура определения совокупности настраиваемых элементов за-

вершается. В противном случае в рассмотрение вводится следующий по степени влияния на выходные параметры устройства пассивный элемент с параметром X_2, который анализируется совместно с параметром X_1, изложенным в алгоритме способом. Это повторяется до тех пор, пока не будут полностью перекрыты доверительные пределы изменения по всем параметрам Y_j.

В результате использования разработанной методики определяется минимальная совокупность настраиваемых элементов, которые гарантируют с заданной вероятностью выполнение условий работоспособности (1).

Определение пределов изменения и шагов квантования параметров

Известные методы [1] позволяют аналитически определять оптимальные значения настраиваемых параметров при фиксированных значениях ненастраеваемых параметров комплектующих элементов и внешних условиях эксплуатации.

Пределы изменения значений настраиваемых параметров и максимально допустимый шаг квантования (МДШК) устанавливаются непосредственно в процессе настойки методом постепенных приближений. Эффективность настройки оценивается по одной выходной характеристике. Все это приводит к тому, что на практике ЭТС либо вообще не представляется возможным настроить оптимальным образом, либо такая настройка возможна, но без оценки прогноза времени пребывания системы в работоспособном состоянии.

Знание пределов изменения необходимо для выбора конкретного типа настраиваемого элемента ЭТС, а также для сужения области поиска оптимума при настройке в реальных условиях. Знание МДШК необходимо для правильного выбора шага дискретизации параметров настраиваемых элементов.

МДШК следует определять для серии однотипных по структуре и функциональному назначению ЭТУ. В этом случае необходимо предварительно построить область компромиссов $G_к$, то есть область работоспособности с учетом технологического разброса параметров комплектующих элементов устройств, составляющих серию.

Полученная область компромиссов $G_к$ должна удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к каждому устройству, входящему в серию. Таким образом, область $G_к$ определяется как пересечение областей $G_{кf}$, $f = \overline{1,\theta}$, где θ — количество устройств в серии:

$$G_к = \bigcap_{f=\overline{1,\theta}} G_{кf}.$$

Рассмотрим аналитический и теоретико-экспериментальный подходы к определению области компромиссов, пределов изменения настраиваемых параметров ЭТУ и их МДШК.

Аналитический метод. В том случае если количество устройств θ, составляющих серию, велико, то область компромиссов $G_к$ следует определять приближенно на основе вероятностно-статистических методов. С этой целью из общего количества θ ЭТУ выделим υ устройств и для каждого из них построим зависимости $Y_j(\mathbf{X}) = Y_{j\max}$ и $Y_j(\mathbf{X}) = Y_{j\min}$, определяющие область $G_к$. Рекомендуется значение υ выбирать в пределах от 25 до 50 [4]. Зафиксируем $(n-1)$ параметр $X_1, X_2, ..., X_{n-1}$ и по построенным зависимостям методом параллельных прямых [1] определим υ значений параметра X_n. На основании полученной совокупности значений $\{X_n\}$ определим закон распределения этой совокупности. Задавшись вероятностной оценкой $P_к$ точности построения области компромиссов, получим значение X_n', соответствующее этой вероятности. При этом из двух возможных значений X_n' необходимо выбрать то значение, которое соответствует меньшим размерам области $G_к$. Указанная операция повторяется η раз для различных сочетаний параметров $X_1, X_2, ..., X_n$, где параметр η определяется числом значимых коэффициентов в уравнениях $Y_j(\mathbf{X}) = Y_{j\max}$ и $Y_j(\mathbf{X}) = Y_{j\min}$. На основе полученной информации строятся зависимости, которые с вероятностью $P_к$ определяют область компромиссов $G_к$.

Получим расчетные формулы, определяющие коэффициенты в уравнении $Y_j(\mathbf{X})$, предполагая, что функция получена в результате проведения активного эксперимента и имеет вид полинома

$$Y_j = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_1X_2.$$

Приведенное уравнение содержит четыре значимых коэффициента. Таким образом, для четырех фиксированных значений параметра $X_2(X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24})$ после обработки статистических данных получим соответствующие им четыре значения параметра X_1, которые обозначим как X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}.

В результате проведенных операций формируется система уравнений

$$Y_j = b_0 + b_1X_{1j} + b_2X_{2j} + b_3X_{1j}X_{2j},\ j = 1, 2, 3, 4.$$

Решая эту систему, получим следующие расчетные формулы для коэффициентов в исходном уравнении:

$$b_0 = \Delta_1/\Delta,\ b_1 = \Delta_2/\Delta, b_2 = \Delta_3/\Delta, b_3 = \Delta_4/\Delta,$$

где Δ, Δ_1, Δ_2, Δ_3, Δ_4 — соответственно главный и дополнительные определители системы уравнений.

Аналогично могут быть получены расчетные формулы и для другого вида исходного уравнения.

Введем в рассмотрение метрику l, которая является функцией двух переменных X_1 и X_2. В общем виде

$$l = \psi(X_1, X_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i \left(X_{i1} - X_{i2}\right)^2}\ , \qquad (2)$$

где X_{i1}, X_{i2} — координаты векторов $\overline{X}_1$ и $\overline{X}_2$ соответственно, $i = 1, 2, ..., n$; λ_i — нормирующий множитель по i-й координате переменных X_1 и X_2, введенный с целью возможности учета параметров разной размерности.

Будем считать, что переменные X_1 и X_2 определяют множество граничных точек областей $G_{кf}$, $f = \overline{1,\theta}$, пересечение которых задает область компромиссов $G_к$.

Наибольшее значение метрики $l_{max} = \max \psi(X_1, X_2)$ для настраиваемого параметра $X_{iн} \in X_v$ будет определять предел изменения $\Delta X_{iн}$ этого параметра, а наименьшее значение метрики $l_{min} = \min\ \psi(X_1, X_2)$ будет определять МДШК этого параметра при фиксированных значениях остальных настраиваемых параметров ЭТС. При этом l_{max} и l_{min} определяются как разность наибольшего и наименьшего граничных значений параметра X_i соответственно для областей G_0 и $\underline{G}_к$. Здесь под областью G_0 понимается допусковая область, которая включает все области $G_{кf}$, $f = \overline{1,\theta}$. Область G_0 определяется аналогично области $G_к$.

Для наглядности на рис. 3 приведена графическая иллюстрация определения пределов изменения и МДШК на примере двух настраиваемых параметров $X_{1н}$, $X_{2н}$ и $\theta = 4$.

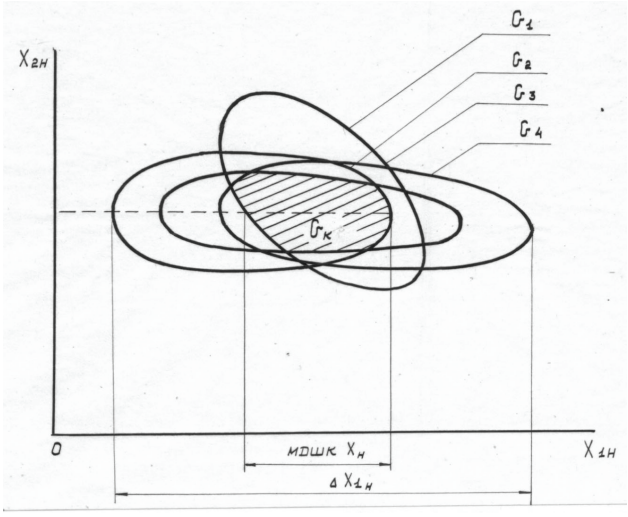


Рис. 3. Иллюстрация определения пределов изменения и МДШК для двух настраиваемых параметров

Теоретико-экспериментальный подход. На основе аналитического метода разработана методика теоретико-экспериментального определения оптимальных пределов изменения и МДШК параметров настраиваемых элементов ЭТС с учетом технологического разброса параметров комплектующих элементов при различных условиях эксплуатации системы и при произвольном количестве ее выходных характеристик. При этом оптимальные пределы изменения и МДШК параметров настраиваемых элементов определяются с помощью статистического моделирования на основе использования информации о границе области работоспособности. Сущность методики сводится к следующему.

Из массива комплектующих элементов ЭТУ формируется *ν* комплектов активных элементов с произвольными значениями параметров и один комплект пассивных элементов с номинальными значениями параметров. Комплект составляет минимальное количество элементов, используемых без резервирования в ЭТУ. Рекомендуется выбирать ν в пределах от 25 до 50 [4].

Определяется семейство областей работоспособности ЭТУ при нормальных условиях эксплуатации. С этой целью производится сборка макета устройства из пассивных элементов и одного μ-го комплекта активных элементов $\left(\mu = \overline{1,\nu}\right)$. Выбираются максимально возможные пределы изменения настраиваемых параметров и по разработанным известным алгоритмам [5; 6, с. 69–74; 7, с. 27–37] находится граница области работоспособности G_μ собранного макета. В общем виде $G_\mu = \bigcap_{j=1}^{m} G_{\mu j}$, где $G_{\mu j}$ — область множества значений параметров настраиваемых элементов, при которых удовлетворяются требования, предъявляемые к *j*-й выходной характеристике ЭТУ $\left(j = \overline{1,m}\right)$.

Описанная процедура повторяется для всех комплектов активных элементов. В итоге получается искомое семейство областей $\{G_\mu\}$.

Устанавливаются оптимальные пределы изменения каждого из настраиваемых параметров. Рассмотрим, например, параметр X_n, где *n* — порядковый номер параметра, $n = \overline{1,N}$.

Первоначально осуществляется сужение пределов изменения настраиваемых параметров от максимально возможных, определяемых областью $D_{\mathbf{X}}$, до минимальных. Минимальными являются пределы, определяемые диапазоном изменения X_n от самого малого значения, принадлежащего какой-либо границе области из семейства $\{G_\mu\}$, до самого большого значения, также принадлежащего какой-либо границе области из этого семейства. Таким образом, минимальными являются пределы изменения любого настраиваемого параметра, которые охватывают границы всех областей из семейства $\{G_\mu\}$.

Оптимальные пределы устанавливаются на основе минимальных пределов путем их дальнейшего сужения по соответствующим критериям. Один из возможных способов такого сужения сводится к следующему. Для каждого настраиваемого параметра, кроме параметра X_n, выбирается и фиксируется его конкретное значение из интервала, определяемого его пределами. На базе семейства областей $\{G_\mu\}$ формируется совокупность минимальных значений параметра X_n. Обозначим эту совокупность $\{X_{n\mu\,\min}\}$, где $X_{n\mu\,\min}$ — минимальное значение параметра X_n для области G_μ при фиксированных значениях остальных настраиваемых параметров. В принципе можно формировать и рассматривать в дальнейшем совокупность и максимальных значений параметра X_n. Предположим, что предпочтение отдано совокупности $\{X_{n\mu\,\min}\}$. Поскольку каждый член этой совокупности является реализацией случайной величины $X_{n\mu\,\min}$, можно найти закон ее распределения.

Если выбрать в качестве критерия сужения исходных минимальных пределов изменения значений параметра X_n вероятность работоспособного состояния ЭТУ, то, задавшись значением этой вероятности и зная закон распределения величины $X_{n\mu\,\min}$, можно определить пределы изменения параметра X_n, которые обеспечивают это значение вероятности.

Оптимальными пределами являются значения параметра X_n, составляющие наименьший интервал, по которому необходимо интегрировать плотность вероятности случайной величины $X_{n\mu\,\min}$, чтобы получить заданную вероятность работоспособного состояния ЭТУ. Для других параметров их оптимальные пределы определяются аналогично.

Устанавливается максимально допустимый шаг квантования (МДШК) для каждого из настраиваемых параметров с учетом влияния условий эксплуатации (температуры, влажности, вибрации и т. д.) ЭТУ. В связи с этим ЭТУ подвергается соответствующему воздействию $\mathbf{v}(t)$. После чего определяется область работоспособности $G_{\mu}\left(\mathbf{v}(t)\right)$ для каждого из ν комплектов активных элементов. В итоге получается семейство областей $\{G_{\mu}(\mathbf{v}(t))\}$.

Далее формируется ЭТУ из пассивных элементов с номинальными значениями параметров и μ-го комплекта активных элементов, значения параметров у которых наиболее близки к среднему значению случайной величины $X_{n\mu\ \min}$. Один из пассивных элементов ЭТУ заменяется на другой с положительным допуском (+Δ), то есть со значением параметра больше номинального и определяется область $G_i^{(+)}$. Пусть это будет элемент i, $i=\overline{1,I}$, где I — число пассивных элементов. Далее этот же элемент вновь заменяется аналогичным элементом, но с отрицательным допуском (–Δ) и определяется область $G_i^{(-)}$. Затем элемент i заменяется другим элементом с номинальным значением параметра.

Указанные операции повторяются для всех пассивных элементов, в результате чего формируются семейства областей $\{G_i^{(+)}\}$, $\{G_i^{(-)}\}$. Область компромиссов $G_{к}$ определяется как конъюнкция полученного семейства областей G_{μ}, $\{G_{\mu}(\mathbf{v}(t))\}$, $\{G_i^{(+)}\}$, $\{G_i^{(-)}\}$.

МДШК для параметра X_n определяется как наименьшая разность его граничных значений $X_{n\text{к min}}$ и $X_{n\text{к max}}$, принадлежащих области компромиссов $G_{к}$ при фиксированных значениях других настраиваемых параметров.

При отсутствии области компромиссов выбор МДШК настраиваемых элементов производится следующим образом. Осуществляется анализ влияния каждого пассивного элемента на размеры области работоспособности. При наложении областей G_{μ}, $\{G_{\mu}(\mathbf{v}(t))\}$, $\{G_i^{(+)}\}$, $\{G_i^{(-)}\}$ друг на друга поочередно, в произвольном порядке, исключают области, соответствующие изменению параметров элементов, оказывающих наиболее существенное влияние на их размеры. Процедура продолжается до тех пор, пока не будет получена область компромиссов. Исключение из учета областей, соответствующих некоторым пассивным элементам, означает, что значения параметров этих элементов должны быть строго номинальными, без каких-либо отклонений.

Аналогичным образом определяются МДШК для других настраиваемых параметров ЭТУ. По полученным значениям оптимальных пределов изменения и МДШК каждого параметра производится настройка ЭТУ. В результате настройки устанавливаются точные значения параметров настраиваемых элементов, принадлежащие области компромиссов $G_{к}$.

Для решения задачи выбора оптимальных значений настраиваемых параметров с учетом заданного запаса работоспособности или по критерию его максимума следует использовать разработанные автором методы и алгоритмы параметрического синтеза [1; 7; 8; 9, с. 24–29; 10, с. 120–131]. Особенностью задачи является лишь меньшая по сравнению с общим случаем размерность пространства параметров. Задача определения моментов времени, в которые необходимо осуществлять эксплуатационные регулировки, относится к задачам технического диагностирования ЭТС и в настоящей статье не рассматривается.

Изложенные в статье методы и алгоритмы синтеза настраиваемых ЭТС были апробированы при исследовании и оптимизации ЭТУ водного транспорта.

Список литературы

1. *Саушев А. В.* Методы управления состоянием электротехнических систем / А. В. Саушев. — СПб.: СПГУВК, 2004. — 126 с.

2. *Абрамов О. В.* Выбор параметров настройки технических устройств и систем / О. В. Абрамов // Проблемы управления. — М., 2011. — № 4.

3. *Абрамов О. В.* Параметрический синтез настраиваемых технических систем / О. В. Абрамов, С. П. Инберг. — М.: Наука, 1986. — 125 с.

4. *Саушев А. В.* Определение совокупности настраиваемых элементов автоматизированной системы управления / А. В. Саушев // Электрооборудование и АСУ судов, гидротехнических сооружений и портов: сб. науч. тр. Ленингр. ин-та водного транспорта. — Л.: ЛИВТ, 1982.

5. *Саушев А. В.* Сеточный метод построения областей работоспособности технических объектов на основе алгоритма симплексного поиска / А. В. Саушев // Журнал университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2010. — Вып. 1 (5).

6. *Саушев А. В.* Построение областей работоспособности технических систем водного транспорта на основе алгоритмов дискретного поиска / А. В. Саушев // Речной транспорт (XXI век). — М., 2012. — № 2.

7. *Саушев А. В.* Аналитический и поисковый методы параметрической оптимизации технических систем по критерию запаса работоспособности / А. В. Саушев // Журнал университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2011. — Вып. 3 (11).

8. *Саушев А. В.* Построение целевой функции при поиске оптимального решения / А. В. Саушев // Морской вестник. — СПб., 2012. — № 3 (43).

9. *Саушев А. В.* Метод и алгоритмы параметрического синтеза электротехнических систем по критерию запаса работоспособности / А. В. Саушев // Информационные технологии. — М., 2012. — № 12.

10. *Саушев А. В.* Аналитический метод назначения допусков на параметры динамических / А. В. Саушев // Информатика и системы управления. — Хабаровск, 2012. — № 3 (33).

УДК 621.3.053.4

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

В. В. Сахаров,
д-р техн. наук, профессор,
СПГУВК

А. Г. Таранин,
ст. преподаватель,
НГМА им. адмирала Ф.Ф. Ушакова

МОДАЛЬНЫЙ МЕТОД ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

MODALLY DAMPED PARAMETRIC METHOD FOR SHIP CONSTRUCTIONS

Рассматривается модальный метод параметрического демпфирования колебаний динамической системы, реализуемого средствами пассивного управления. Приводятся модели оценки параметров элементов конструкции, обеспечивающие заданный спектр собственных частот при апериодическом переходном процессе.

The modal method of parametric damping for dynamic system oscillations is considered. Models for parameter estimation of mechanical construction are presented. The models secure specified spectrum of internal frequencies under aperiodic transient process.

Ключевые слова: модальное управление, оценка параметров, демпфирование колебаний, спектр матрицы, переходный процесс, собственные значения.

Key words: modal control, parameter estimation, damping oscillation, matrix spectrum, response, eigenvalues.

Теория демпфирования колебаний сложных конструкций и динамических систем, изучаемая на протяжении нескольких столетий, продолжает по-прежнему привлекать внимание широкого круга специалистов, что объясняется необходимостью решения большого числа задач, возникающих в самых различных областях знаний и технических приложений [6, p. 169–182]. Теория демпфирования колебаний играет фундаментальную роль в изучении устойчивости механических структур, а также в электроэнергетических системах, квантовой механике, моделях экономических, экологических, социальных и других систем.

С появлением мощных средств обработки информации произошли кардинальные изменения в области моделирования динамики систем [4, p. 64–72]. Практическое использование методов теории управления, оптимизации и идентификации позволило на качественно новом уровне оценивать параметры конструкций. Особый интерес в связи с этим представляют методы и средства модального синтеза, а также их использование для получения требуемых эксплуатационных характеристик технических систем.

В работе показано, как метод модального синтеза может использоваться для параметрической оценки элементов простых конструкций, с помощью которых реализуется система пассивного управления процессом демпфирования. Для моделирования механических систем обычно применяются матричные дифференциальные уравнения. При отсутствии гироскопических сил модель имеет вид

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = f(t), \tag{1}$$

где $x = x(t)$ — n-мерный вектор переменных состояния, являющийся функцией времени t в $\mathbf{R}^n$; матрицы M и K — положительно определенные; матрица C — положительно полуопределенная. Все матрицы действительные и симметрические, размерности $(n \times n)$, $f(t)$ — вектор-функция входных сигналов. Применительно к системам «масса–пружина–демпфер» физическое значение используемых параметров и векторов в формуле (1) следующее: $x(t)$ — положение (перемещение) масс; M — матрица масс; K —матрица жесткостей пружин; C — матрица коэффициентов демпфирования; $f(t)$ — внешние силы, воздействующие на систему. По методу динамических аналогий для электрических цепей элементы модели (1) обычно связывают со следующими физическими величинами: $x(t) = q(t)$ — зарядом конденсаторов, M — матрицей собственных и взаимных индуктивностей, K — инверсной матрицей емкостей, C — матрицей резисторов, $f(t)$ — напряжениями (токами) внешних источников электроэнергии. Симметрические матрицы, подобные используемым в модели (1), для гидравлических систем могут быть получены с помощью уравнений Лагранжа. С этой целью следует предварительно получить математические выражения для полной кинетической энергии T, диссипативной функции Q и полной потенциальной энергии V несжимаемой жидкости.

Для моделей с неособенной матрицей M уравнение (1) может быть записано в форме пространства состояний. Введем обозначения: $x = x1$ $\dot{x} = x2$. Тогда получим

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} x1 \\ x2 \end{bmatrix} = A\begin{bmatrix} x1 \\ x2 \end{bmatrix} + v(t), \tag{2}$$

где

$$A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M^{-1}\cdot K & -M^{-1}\cdot C \end{bmatrix}, v(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}\cdot f(t) \end{bmatrix}.$$

Характеристическое уравнение системы (2) представим в следующем виде:

$$Q(\lambda) = \lambda^n + p1\cdot\lambda^{n-1} + p2\cdot\lambda^{n-2} + \ldots + p(n-2)\cdot\lambda^2 + p(n-1)\cdot\lambda + pn, \tag{3}$$

где $Pn = [p1, p2, \ldots, pn]$ — вектор постоянных коэффициентов.

Уравнение (1) приведено к виду, удобному для численного решения в среде MatLAB с помощью решателей дифференциальных уравнений группы ODE. При заданных начальных значениях

$x0 = [x10\ x20]^T$ выполняются условия существования и единственности решения уравнения (2). Заметим, что в случае сингулярной M следует использовать обычные процедуры формирования уравнений состояния с соблюдением корректности вводимых обозначений координат. Приведение к виду, пригодному для численного моделирования систем, описываемых нелинейными дифференциальными уравнениями n-го порядка, выполняется путем составления соответствующих n вектор-функций первого порядка.

Уравнения (1) и (2) часто используют для моделирования механических структур, состоящих из соединений типовых звеньев, содержащих накопители энергии и элементы демпфирования колебаний. На рис. 1 представлена схема последовательного соединения масс, образующих механическую структуру, в которой могут наблюдаться колебания с различными собственными частотами.

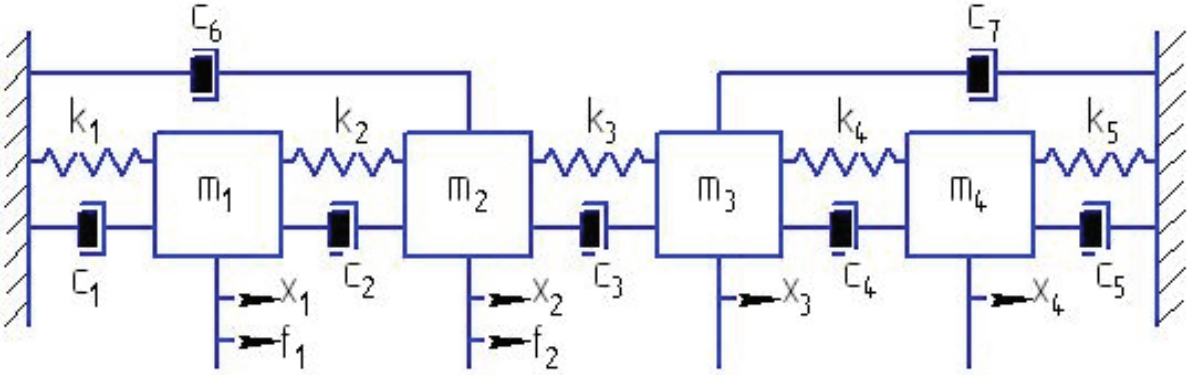


Рис. 1. Структура с четырьмя степенями свободы

Заметим, что аналогичные структуры часто применяются для математического моделирования роботов-манипуляторов различного назначения [3, p. 65–88], моделирования динамики сцепок вагонов, элементов конструкций металлообрабатывающих станков, дробильных машин [2, p. 377–384], динамики мостовых кранов [1] и др.

В общем случае при наличии в структуре n масс модель (рис. 1) представляет собой механическую систему, все элементы которой могут перемещаться горизонтально. Здесь $x = [x_1, x_2, \ldots, x_n]^T$ — вектор состояния, где $x_i = x_i(t)$ — перемещение i-й массы относительно точки ее равновесия. Матрицы M, K и C соответственно равны:

$$M = \mathrm{diag}([m_1, m_2, \ldots, m_n]), \qquad m_i > 0, \qquad i = 1, \ldots, n. \tag{4}$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & \cdots & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & -k_3 & \cdots & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & -k_n \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & 0 & -k_n & k_n + k_{n+1} \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$k_i > 0, \qquad i = 1, \ldots, n.$$

Матрица демпфирования формируется следующим образом:

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 + c_6 & -c_3 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 + c_4 + c_7 & -c_4 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & -c_4 & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & -c_n \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & 0 & -c_n & c_n + c_{n+1} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$c_i \geq 0, \qquad i = 1, \ldots, n.$$

Входные сигналы вводятся с коэффициентами усиления (передачи), приведенными в матрице v:

$$v = \mathrm{diag}([v_1, v_2, \ldots, v_n]) \qquad v_i \geq 0, \qquad i = 1, \ldots, n. \quad (7)$$

Если в уравнении (1) принять $C = 0$, то при отсутствии внешних воздействий можно получить модель консервативной системы. Такую модель обычно используют для оценки частот собственных колебаний на начальном этапе исследований или для стартовой оценки, что объясняется простотой вычислительных алгоритмов, базирующихся на ортогональных преобразованиях обобщенной пары матриц (K, M). К наиболее эффективным решениям при спектральном анализе недемпфированных систем следует отнести декомпозицию собственных значений пары матриц (K, M). Если M — неособенная симметрическая матрица, то всегда возможна редукция матриц к диагональному виду:

$$\Phi^T K \Phi = \mathrm{diag}([\mu_1, \mu_2, \ldots, \mu_n]), \qquad \Phi^T M \Phi = I,$$

где I — единичная и Φ — ортогональная матрицы. Для положительно определенных матриц K и M все элементы μ_i являются положительными числами, причем этим значениям равны квадраты собственных частот системы. Поэтому

$$\Phi^T K \Phi = \Omega^2 \quad \text{и} \quad \Phi^T M \Phi = I, \quad (8)$$

где $\Omega = \mathrm{diag}([\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_n])$, причем $\omega_i = \mu_i^{1/2}$.

В вычислительной среде MatLAB собственные частоты в недемпфированной системе обычно определяют с помощью функции eig со следующей структурой:

$$[\Phi, D] = \mathrm{eig}(K, M).$$

Функция возвращает диагональную матрицу D обобщенных собственных значений и полную матрицу Φ, столбцы которой являются соответствующими собственными векторами, так что

$$K\Phi = M\Phi D,$$

и Ω находится по уравнению (8), согласно которому

$$D = \Phi^T K \Phi.$$

Решение (1) при условии $C = 0$ имеет вид

$$x(t) = \Phi \begin{bmatrix} a_1 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) + b_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \\ a_2 \cdot \cos(\omega_2 \cdot t) + b_2 \cdot \sin(\omega_2 \cdot t) \\ \cdots \\ a_n \cdot \cos(\omega_n \cdot t) + b_n \cdot \sin(\omega_n \cdot t) \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Столбцы *a* и *b* в уравнении (9) определяются по формулам:

$$\alpha = \Phi^{-1}x0, \qquad b = \Phi^{-1}\,(dx/dt)_{t=0}\,.1/\omega,$$

где вектор-столбец собственных частот $\omega = [\mathrm{diag}(D)]^{1/2}$. В выражении для *b* используется сомножитель (.1/ω), где точка означает выполнение поэлементного деления. Из уравнения (9) следует, что любое колебание представляет собой суперпозицию гармонических колебаний или собственных мод. Для модально демпфируемых систем должно выполняться равенство

$$T1 = T2, \tag{10}$$

где $T1 = CK^{-1}M$ и $T2 = [MK^{-1}C]^{\mathrm{T}}$. Тогда диагональными должны быть матрицы $\Phi^{\mathrm{T}}M\,\Phi$, $\Phi^{\mathrm{T}}K\,\Phi$ и симметрической $\Phi^{\mathrm{T}}C\,\Phi$.

Собственные частоты модально демпфированных систем удобно определять по спектру матрицы замкнутой системы согласно (2).

Пассивное демпфирование системы (1) состоит в получении таких расчетных параметров звеньев конструкции (рис. 1), входящих в выражения элементов матриц *K* и *C* при заданной матрице *M*, чтобы спектр *A* в уравнении (2) отвечал заданным численным значениям. Это типичная инверсная спектральная задача, где производится формирование матриц, обеспечивающих предписанный спектр, который определяет требования к заданному переходному процессу в системе [5, p. 891–914].

Решение задач такого класса основывается на инверсной спектральной теории динамических систем [7]. Практическое использование этой теории позволяет в целом ряде случаев получать оценки параметров систем по заданному спектру. Поскольку спектр определяет переходный процесс в динамической системе, выбранные параметры элементов конструкций фактически обеспечивают пассивное управление процессом демпфирования. Пассивное управление эквивалентно параметрическому синтезу модальной системы с заданными динамическими свойствами. Модальный метод синтеза систем является одним из наиболее мощных и теоретически проработанных методов, что является основанием для результативного его применения в задачах параметрической оценки элементов конструкций. Управление осуществляется свободными составляющими движения в переходном процессе, которые в линейных системах однозначно определяются спектром матрицы замкнутой системы. В структуру этой матрицы входят согласно уравнению (2) элементы, содержащиеся в *M*, *K* и *C*, в соответствии с уравнениями (3)–(5). В зависимости от предъявляемых к системе требований можно задать такой спектр матрицы, который обеспечивает колебательный или апериодический переходный процесс при заданном быстродействии. Поскольку коэффициенты характеристического полинома замкнутой системы однозначно определяются корнями характеристического уравнения и параметрами элементов конструкций, дальнейшие преобразования должны сводиться к решению системы алгебраических уравнений, составленных с учетом структуры коэффициентов полинома, значения которых заданы модами. Требуемое распределение корней, численно равное спектру матрицы замкнутой системы, выбирается с использованием различных низкочастотных фильтров: Баттерворта, Чебышева, Бесселя и др. Наиболее просто определяются коэффициенты характеристического полинома с биномиальным распределением корней. Кратные корни, задаваемые биномом Ньютона, позволяют исключить колебания системы в переходном процессе, придать ему монотонный вид, а для расчета дают возможность принять стандартную линейную форму полинома, допускающую масштабирование коэффициентов во времени при сохранении вида переходного процесса. Биномиальное распределение корней можно рекомендовать к применению в тех случаях, когда не требуется высокое быстродействие системы. Отметим, что спектр может задаваться различными способами, используемыми в теории управления. К ним можно отнести получение полиномов путем минимизации квадратичных критериев качества и критериев, обеспечивающих минимум интегральной ошибки, что также дает возможность приблизить реакцию системы на единичный входной сигнал к идеальной по быстродействию.

Рассмотрим динамическую систему с четырьмя степенями свободы (рис. 1), представленную моделью (2) в пространстве состояний с известными параметрами: $m1 = m2 = m3 = m4 = 1$; $k_1 = k_2 = 10\,000$; $k_3 = 5000$; $k_4 = k_5 = 20\,000$; $c_1 = c_4 = c_5 = 10$; $c_2 = 8$; $c_3 = c_7 = 6$; $c_6 = 2$.

Матрицы M, K и C сформируем по формулам:

$$M = \text{diag}([1\ 1\ 1\ 1]);$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 + k_5 \end{bmatrix},$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 + c_5 & -c_3 & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 + c_4 + c_7 & -c_4 \\ 0 & 0 & -c_4 & c_4 + c_5 \end{bmatrix}.$$

Математическую модель системы согласно (2) представим уравнением

$$\dot{y} = A \cdot y + b_1 \cdot f_1 + b_2 \cdot f_2, \tag{11}$$

где A — блочная матрица, состоящая из A_1, A_2 и A_3:

$$A = \begin{bmatrix} & A_1 & \\ A_2 & & A_3 \end{bmatrix},$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} -2 \cdot 10^4 & 10^4 & 0 & 0 \\ 10^4 & -1.5 \cdot 10^4 & 5 \cdot 10^3 & 0 \\ 0 & 5 \cdot 10^3 & -2.5 \cdot 10^4 & 2 \cdot 10^4 \\ 0 & 0 & 2 \cdot 10^4 & -4 \cdot 10^4 \end{bmatrix},$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} -18 & 8 & 0 & 0 \\ 8 & -16 & 6 & 0 \\ 0 & 6 & -22 & 10 \\ 0 & 0 & 10 & -20 \end{bmatrix}.$$

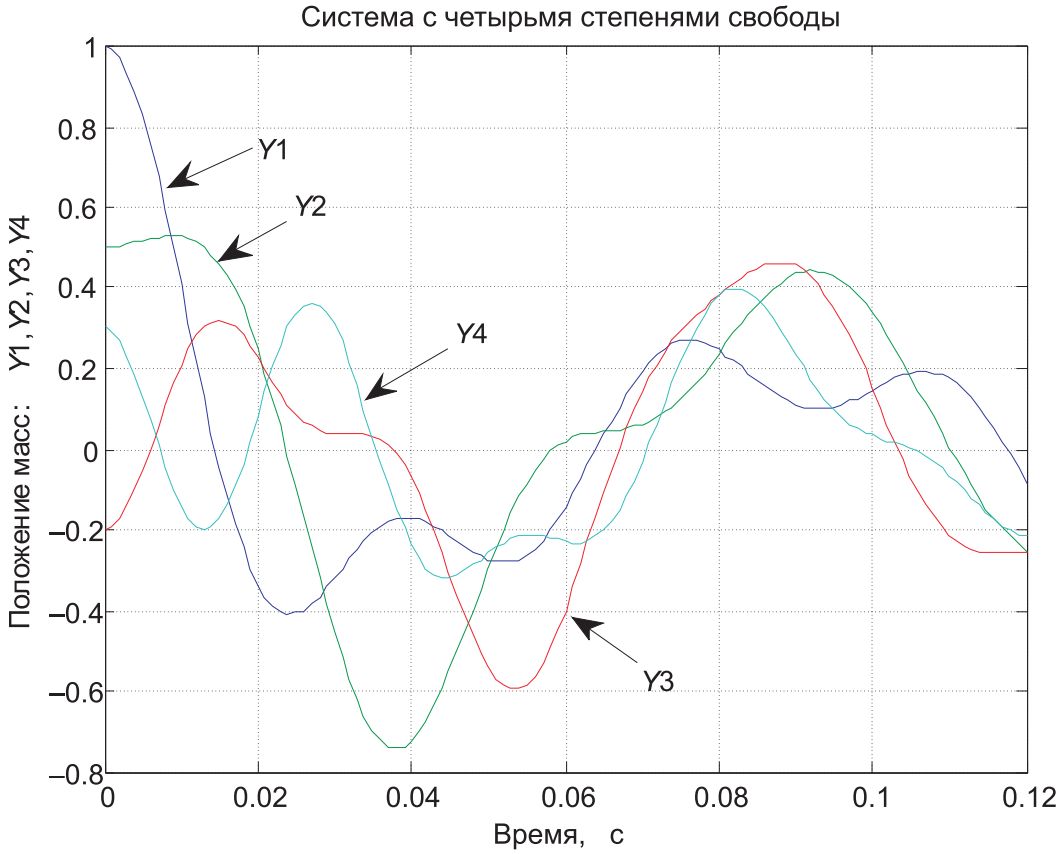


Рис. 2. Переходный процесс в системе с четырьмя степенями свободы

$$b_1 = [0\ 0\ 0\ 0\ 1/m1\ 0\ 0\ 0]^T,$$

$$b_2 = [0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1/m2\ 0\ 0]^T,$$

$f1$ и $f2$ — силы, приложенные соответственно к массам $m1$ и $m2$ (рис. 1). Для решения (10) зададим начальные условия:

$$y0 = [1\ \ 0.5\ \ -0.2\ \ 0.3\ \ 0.1\ 0.2\ \ 0.25\ \ 0.10]^T.$$

Переходный процесс при $f_1 = f_2 = 0$ представлен на рис. 2.

Спектр матрицы A определим по формуле

$$s = \text{eig A},$$
$$\text{OMEGA} = \text{abs(s)}$$
$$\Omega = \text{OMEGA([1, 3, 5, 7])}.$$

В результате

$\Omega = [\omega 1\ \omega 2\ \ \omega 3\ \ \omega 4]^T = [\ 232.4759\ ,\ 167.5591,\ 72.2322,\ \ 112.3888]^T$.

Теперь воспользуемся соотношениями (8) для оценки Ω в недемпфированной системе (11). Применение функции $[\Phi, D] = \text{eig}(K, M)$ приводит к следующим оценкам:

$$\Phi = \begin{bmatrix} -0.4854 & 0.4182 & 0.7674 & -0.0233 \\ -0.7175 & 0.3085 & -0.6195 & 0.0794 \\ -0.4331 & -0.6899 & 0.0846 & -0.5739 \\ -0.2490 & -0.5040 & 0.1419 & 0.8148 \end{bmatrix}.$$

Согласно (9) векторы коэффициентов a и b имеют численные значения:

$$a = [-0.8322 \quad 0.5592 \quad 0.4834 \quad 0.3756]^T,$$
$$b = [-0.0045 \quad -0.0011 \quad -0.0001 \quad -0.0002]^T.$$

Диагональная матрица D содержит элементы:

$$D = \text{diag}\,([0.5217 \quad 1.2624 \quad 2.8072 \quad 5.4087]\cdot 10^4)$$

и, следовательно, вектор собственных частот, используемых в формуле (9) для генерирования $x(t)$, равен

$$\Omega = [72.2298 \quad 112.3576 \quad 167.5464 \quad 232.5657]^T,$$

что соответствует спектру A в уравнении (11), если $A_3 = 0$.

Модальный метод параметрического демпфирования применим для оценки конструктивных параметров элементов динамической системы с двумя степенями свободы, полученной путем декомпозиции и упрощения исходной схемы (рис. 1). Модель, состоящая из последовательного соединения двух тележек с различными массами, представлена на рис. 3.

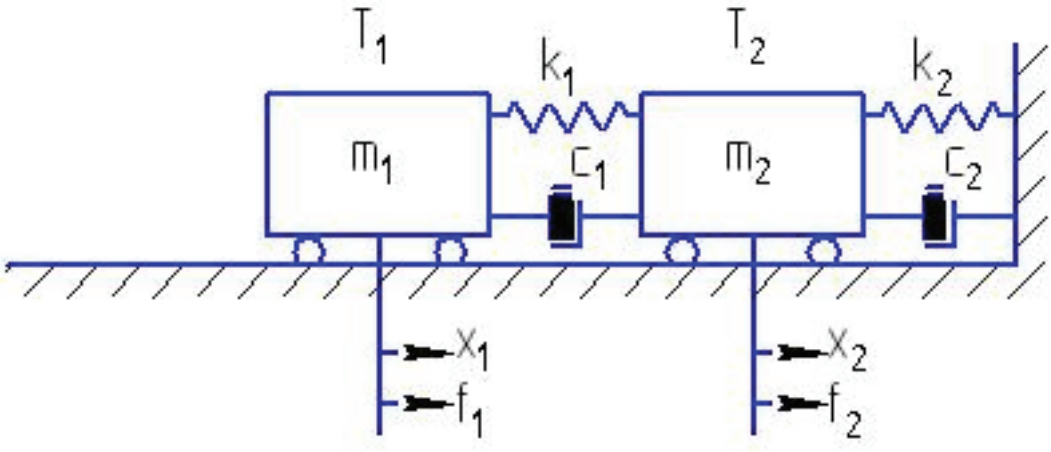


Рис. 3. Система с двумя степенями свободы

Данная модель может быть применена при исследовании механизма передвижения тележки мостового крана с гибким подвесом груза. Раскачивание груза обычно происходит при пуске и торможении крана. В процессе моделирования принято считать, что частота колебаний груза относительно крана существенно ниже частоты упругих колебаний крановой металлоконструкции и трансмиссии механизма передвижения, что позволяет маятниковые колебания груза рассчитывать в предположении абсолютной жесткости крана [1].

Демпфирование следует обеспечить с помощью надлежащего выбора элементов конструкции k_1, k_2, c_1 и c_2. Уравнения динамики системы (рис. 3) с двумя степенями свободы согласно (2)–(6) имеют вид

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \dfrac{-k_1}{m_1} & \dfrac{k_1}{m_1} & \dfrac{-c_1}{m_1} & \dfrac{c_1}{m_1} \\ \dfrac{-k_1}{m_2} & \dfrac{-(k_1+k_2)}{m_2} & \dfrac{c_1}{m_2} & \dfrac{-(c_1+c_2)}{m_2} \end{bmatrix} \cdot x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dfrac{1}{m_1} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot f_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dfrac{1}{m_2} \end{bmatrix} \cdot f_2, \qquad (12)$$

где f_1 и f_2 — силы, приложенные соответственно к массам m_1 и m_2. Выбор элементов конструкции выполним при численных значениях параметров $m_1 = 4$ и $m_2 = 6$.

Характеристическое уравнение динамической системы (11):

$$Q(\lambda) = \lambda^4 + p1 \cdot \lambda^3 + p2 \cdot \lambda^2 + p3 \cdot \lambda + p4, \tag{13}$$

где $P4 = [p1\ p2\ p3\ p4]$ — вектор постоянных коэффициентов.

Образуем этот вектор по заданному спектру выбранного низкочастотного фильтра, соответствующего порядку n. Например, для бинома Ньютона седьмого порядка с кратными корнями $\lambda_1 = \lambda_2 = \ldots = \lambda_7 = -1$ вектор коэффициентов характеристического полинома $P7$ равен

$$P7 = [p1\ p2\ p3\ p4\ p5\ p6\ p7] = [7\ 21\ 35\ 35\ 21\ 7\ 1].$$

Если, например, корни заданного характеристического полинома устойчивой системы должны быть равны элементам вектора r:

$$r = [-0.2\ \ -1.7\ \ -0.03\ \ -0.12\ \ -0.05\ \ (-0.15 + j*0.04)\ \ (-0.15 - j*0.04)]^T,$$

содержащего пару комплексно-сопряженных корней, то коэффициенты характеристического полинома должны быть равны

$$P7(r) = [2.4000\quad 1.3852\quad 0.3592\quad 0.0485\quad 0.0034\quad 0.0001\quad 0.0000].$$

Для четвертого порядка, соответствующего (13), вектор коэффициентов полинома

$$P4 = [p1\ p2\ p3\ p4] = [4\ 6\ 4\ 1]. \tag{14}$$

Заметим, что заданным коэффициентам однозначно равны коэффициенты характеристического полинома, представленные в терминах элементов механических конструкций, то есть

$$Q(\lambda) = \det(\lambda\, I - A),$$

где I — единичная матрица.

Для динамической системы (12), приведенной на рис. 3, коэффициенты полинома (13) получим с помощью функций символьной математики:

$$p1 = (c1 + c2)/m2 + c1/m1,$$

$$p2 = (k1 + k2)/m2 + k1/m1 - c1\text{^}2/(m1*m2) + (c1*(c1 + c2))/(m1*m2),$$

$$p3 = (c1*((k1 + k2)/m2 - c1\text{^}2/(m1*m2)))/m1 -$$

$$-(c1*(k1/m1 - c1\text{^}2/m1\text{^}2))/m2 + (k1*(c1 + c2))/(m1*m2) -$$

$$-(c1*k1)/(m1*m2),$$

(15)

$$p4 = k1*((k1 + k2)/m2 - c1\text{^}2/(m1*m2))/m1 -$$

$$-(c1*((c1*(k1/m1 - c1\text{^}2/m1\text{^}2))/m2 + (c1*k1)/(m1*m2)))/m1 +$$

$$+(c1*((c1*(k1/m1 - c1\text{^}2/m1\text{^}2))/m1 + (c1*k1)/m1\text{^}2))/m2 -$$

$$-(k1*(k1/m1 - c1\text{^}2/m1\text{^}2))/m2.$$

Приведенные уравнения составлены с учетом топологии механической структуры, представленной на рис. 3, которая не изменяется. Это позволяет использовать уравнения (15) для демпфирования системы, удовлетворяющей различным модам.

Модальный синтез выполним для полинома, заданного вектором (14), соответствующим $n = 4$. В результате получим систему алгебраических уравнений:

$$p1 = 4; p2 = 6; p3 = 4; p4 = 1. \quad (16)$$

Произведем подстановку в (14) численных значений m_1 и m_2. Решение (16) можно выполнить как средствами Maple, так и в инструментарии Symbolic Toolbox среды MatLAB. В последнем случае воспользуемся решателем

$$S = \text{solve}(p1, p2, p3, p4)$$

при символьных переменных $k1$ $k2$ $m1$ $m2$ $c1$ $c2$. Из полученных четырех решений выберем два с действительными положительными числами. Приведем их в полном формате.

Первое решение:

$c1 = 4.237208427735151822429500133 8832;$

$c2 = 13.406978930662120443926249665292;$

$k1 = 1.292664893844434594452150594994;$

$k2 = 18.566296736521625906658759811338.$

Второе решение:

$c1 = 5.362791572264848177570499866 1168;$

$c2 = 10.593021069337879556073750334708;$

$k1 = 7.426518694608650362663503924 5354;$

$k2 = 3.231662234611086486130376487 4851.$

Нетрудно убедиться, что подстановка первого и второго решения в уравнение (12) обеспечивает параметрическое демпфирование с заданным спектром $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = -1$. Переходный процесс в системе с параметрическим демпфированием, реализованным модальным методом, приведен на рис. 4, где символами $T1$ и $T2$ обозначены перемещения тележек как реакции на единичный входной сигнал.

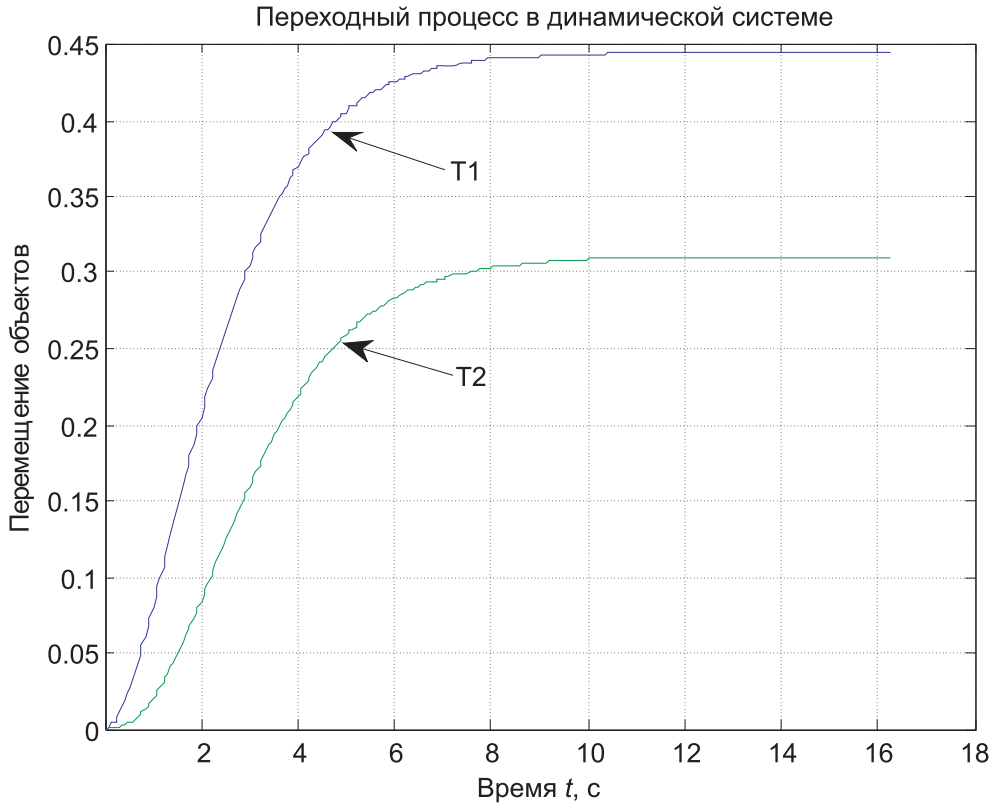


Рис. 4. Переходный процесс в системе с пассивным демпфированием

В заключение отметим, что модальный метод и полученные модели могут использоваться для оценки поведения механических систем в широком диапазоне вариации конструктивных параметров (демпфирующих элементов, жесткостей пружин, масс тележек и др.) путем реализации пассивного демпфирования. Важным также является возможность их применения для моделирования систем с нелинейными характеристиками элементов структур, подверженных воздействию входных сигналов и внешних возмущений, имеющих случайный характер. Модальный метод пассивного демпфирования может использоваться для синтеза робастных систем с реализацией процедур фильтрации для ослабления влияния внешних возмущений на поведение системы. Так, влияние входной помехи $f2$ может быть существенно уменьшено в рассматриваемой структуре с помощью $f1$ средствами смешанного μ-синтеза робастных систем, а также выполнен выбор параметров сложных конструкций методом Монте-Карло.

Список литературы

1. *Лобов Н. А.* Динамика грузоподъемных кранов / Н. А. Лобов. — М.: Машиностроение, 1987. — 160 с.

2. *Cho D. W.* A new time-domain multiple input modal analysis method / D. W. Cho, K. F. Eman, S. M. Wu // Trans. of the ASME. — 1987. Nov. — Vol. 109.

3. *Colgate J. E.* Robust control of dynamically interacting systems / J. E. Colgate, N. Hogan. // International Journal of Control. — 1988. July. — Vol. 48, № 1.

4. The role of digital modeling and simulation in power engineering education / M. Kezunovic [et al.] // IEEE Transactions on Power Systems. — 2004. Febr. — Vol. 19, № 1.

5. *Lancaster P.* Inverse problems for damped vibrating systems / P. Lancaster, U. Prells // J. of Sound Vibration. — 2005. — Vol. 283.

6. *Truhar N.* Ancient algorithm for damper optimization for linear vibrating systems using Lyapunov equation / N. Truhar // J. Comp. Appl. Math. — 2004. — Vol. 172.

7. *Veselić K.* Damped oscillations of linear systems — a mathematical introduction / K. Veselić. Springer, 2011. — 202 p.

УДК 621.4.023.2

Е. Н. Иванов,
доцент,
СПГУВК;

А. В. Черничкова,
аспирант,
СПГУВК;

М. Б. Шамсиева,
аспирант,
СПГУВК

СПОСОБ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ НА ОСНОВЕ КВАДРАТИЧНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

DESIGN METHOD FOR ELECTRICAL CIRCUITS BAISED ON QUADRATIC PROGRAMMING TOOL

Рассматривается способ расчета электрических цепей на базе принципа наименьшего действия как альтернативный существующим способам анализа стационарных режимов. Вычисления выполняются в терминах функций квадратичного программирования инструментария Optimization Toolbox вычислительной среды MatLAB. Приводится пример расчета конденсаторной цепи.

Design procedure for electrical circuits based on the minimum energy principle that is alternative to existing way is considered. Calculations are realized in quadratic programming terms by means of Optimization Toolbox in MatLAB. The example of capacitor circuit design ispresented.

Ключевые слова: электрическая цепь, принцип минимизации энергии, уравнения Лагранжа, голономные и неголономные ограничения, вариационный принцип Гамильтона, квадратичное программирование.

Key words: electrical circuit, minimum energy principle, Lagrange equations, holonomic and nonholonomic constraints, Hamilton`s variational principle, quadratic programming.

В ТЕОРИИ электрических цепей и электромеханических систем используются различные методы для построения моделей. В этой статье рассматривается альтернативный метод, основанный на вариационном принципе Гамильтона с использованием квадратичного программирования для определения стационарных точек.

Известно, что методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока основаны на законах Ома и Кирхгофа и аналогичны как для установившихся, так и для переходных процессов. Расчет заключается в составлении и решении системы уравнений, связывающих напряжения, токи и сопротивления (проводимости) ветвей цепи. После решения уравнений в символической или операторной формах осуществляется переход от символических и операторных изображений рассчитываемых величин к их оригиналам — реальным мгновенным значениям токов и напряжений.

В сложных цепях с большим числом ветвей и узлов система уравнений содержит большое число неизвестных, и ее решение связано с выполнением значительного объема вычислительных операций, для чего разработаны обобщенные аналитические и топологические методы. К ним относится матричный метод, позволяющий представлять математические модели электрических цепей в компактной форме, удобной для выполнения расчетов в различных вычислительных средах.

Существующий арсенал корректных методов и моделей электрических цепей и динамических систем, приводящих к одним и тем же результатам, позволяет выбирать для расчета наиболее подходящий метод, с учетом топологии цепи и эффективности применения стандартных функций вычислительных сред. Пополнение арсенала новыми способами вычислений является актуаль-

ным направлением исследований в данной предметной области, поскольку способствует расширению области использования электротехнических методов анализа и синтеза цепей в различных сферах производства.

Применение математических моделей и методов расчета электрических цепей, приводящих к одному и тому же результату, свидетельствует о следующем:

1) физические принципы и законы являются общими и, следовательно, применимы во многих физических системах и средах, в том числе в электротехнике;

2) для анализа и синтеза сложных систем представляет практический интерес принцип, базирующийся на минимизации энергии.

Принцип минимизации энергии основан на концептуальных положениях классической механики и вариационном принципе Гамильтона. В 1834 г. Гамильтон сформулировал важное положение аналитической механики, которое получило название принципа остаточного действия. Принцип гласит, что из всех возможных движений консервативной механической системы на любом временно́м интервале возникает такое движение, для которого функционал

$$J = \int_{t_1}^{t_2} L dt \tag{1}$$

достигает экстремального (устойчивого) значения. Траектория, на которой реализуется экстремум, является экстремальной траекторией функционала действия J. Величина L есть функция Лагранжа или лагранжиан.

Для линейной консервативной системы лагранжиан определяется по формуле

$$L = T - U, \tag{2}$$

где T — кинетическая энергия и U — потенциальная энергия. Лагранжиан L является функцией положения и скорости.

Для решения задачи (1), (2) следует определить лагранжиан (получить модель системы, используя скалярную функцию) и потребовать, чтобы функционал J принимал экстремальные значения.

Известно, что принципу Гамильтона соответствует равенство нулю вариации функционала действия J в виде математического соотношения:

$$\delta J = 0.$$

На базе принципа Гамильтона сформулированы фундаментальные положения динамики систем, базирующиеся на концепции, согласно которой физический феномен направляется по пути наибольшей экономии. Его действие становится универсальным.

В общем случае лагранжиан является функцией времени, механических или электрических величин и их первых производных. Эти величины принято называть обобщенными координатами и обозначать как $q_1, \ldots, q_N$. Их первые производные, обозначаемые как $q_1^{'},...,q_N^{'}$, называют обобщенными скоростями. Таким образом, лагранжиан системы

$$L = L\left(q_j, q_j^{'}, t\right), j = 1, ..., N.$$

Максвелл ввел по аналогии с аналитической механикой обобщенные координаты электрических величин: заряды были приняты как обобщенные координаты, токи как обобщенные скорости и магнитные поля индуктивностей как обобщенные моменты. В этой аналогии потенциальная и кинетическая энергия в механической системе соответствует энергии электрического и магнитного поля.

В электрических цепях вводятся ограничения, определяемые по законам Кирхгофа, которые устанавливают соотношения, зависящие от топологии цепи. Такие ограничения устанавливаются матрицей инциденции цепи. В большинстве случаев это — голономные ограничения.

В работах по аналитической механике и теории оптимального управления доказывается, что для консервативной системы с голономным ограничением на временно́м интервале $t \in [t_1\ t_2]$ вектор переменных состояния $q(t)$ удовлетворяет принципу Гамильтона (то есть является экстремалью функционала J), если он получен путем решения уравнения

$$\frac{\partial L}{\partial q} - \frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} = 0.$$

Для электрических цепей это соотношение не является достаточным, поскольку цепи в общем не являются консервативными. Для моделирования неконсервативных систем, в которых часть энергии необратимо преобразуется в тепловую энергию, применяют уравнения

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q} + \frac{\partial R}{\partial \dot{q}} = Q.$$

где R — диссипативная функция Рэлея; Q — обобщенные силы (внешние силы в механике или источники энергии в электрических цепях). Экспериментально доказано, что с достаточной точностью выполняется следующее соотношение:

$$R = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{s} r_j (q_j)^2,$$

где r_j — элемент параметра диссипации.

Приведенные уравнения используются для составления математических моделей консервативных и неконсервативных систем в классической динамике и электротехнике. Модели, представленные матричными дифференциальными уравнениями вида

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = f(t), \tag{3}$$

где M, K и C — матрицы масс, жесткостей пружин и коэффициентов демпфирования соответствующей размерности, $f(t)$ — внешние силы, воздействующие на систему, подлежат решению с применением функций различных вычислительных сред [3]. При составлении на основе принципа наименьшего действия уравнений динамики электрических цепей, аналогичных (3), вместо матриц M, K и C вводятся соответственно матрицы собственных и взаимных индуктивностей L, сопротивлений R и инверсных емкостей K. Способы их составления для цепей и электромеханических систем изложены в работе [2, p. 4–7].

Поскольку T, U в уравнении (1), а также диссипативная функция представляют собой квадратичные формы, то по методу Лагранжа они могут быть приведены к сумме квадратов [1]. Следовательно, для минимизации энергии можно использовать методы математического программирования, что существенно упрощает процедуру расчета и позволяет решать электротехнические задачи высокой размерности с ограничениями — неравенствами, нелинейными ограничениями и выполнять вычисления с помощью различных функций инструментария Optimization Toolbox среды MatLAB.

Для расчета стационарных режимов в электрических цепях предлагается альтернативный способ, основанный на применении квадратичного программирования для определения стационарных точек в системе с голономными и неголономными связями.

Рассмотрим электрическую цепь, представленную на рис. 1. Разветвленная цепь, подключенная к источнику постоянной ЭДС, состоит из конденсаторов различной емкости.

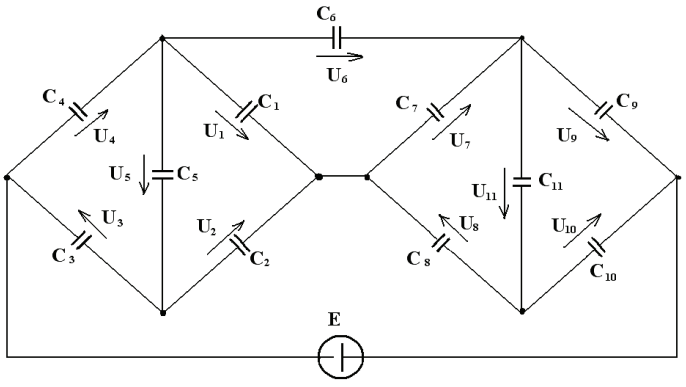


Рис. 1. Электрическая цепь конденсаторов, подключенных к источнику постоянной ЭДС

Энергия электрического поля конденсаторов с учетом введенных на рис. 1 обозначений определится с помощью соотношения

$$W_э = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{11} C_i \cdot U_i^2 \qquad (4)$$

Вектор переменных состояния согласно рис. 1 содержит одиннадцать напряжений, подлежащих вычислению:

$$U = [U_1\, U_2\, U_3 \ldots\, U_{10}\, U_{11}]^T. \qquad (5)$$

Голономные связи представим в виде матричного уравнения:

$$A_{eq} U = b_{eq}. \qquad (6)$$

Матрица ограничений — равенств A_{eq}, составленная для контурных напряжений, равна

$$A_{eq} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix},$$

а вектор-столбец b_{eq} соответственно содержит следующие элементы:

$b_{eq} = [0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ E]^T$.

Решение получено для следующих значений параметров цепи:

— емкости (мкФ):

$C = [\, c1\ c2\ c3\ c4\ c5\ c6\ c7\ c8\ c9\ c10\ c11] = [2\ 5\ 1\ 4\ 3\ 7\ 2\ 5\ 4\ 2\ 3]$;

— ЭДС источника $E = 250$ В.

Расчет выполнен с помощью файла sah762f.m, составленного в кодах MatLAB, фрагмент которого приведен ниже. В файле использована функция quadprog, предназначенная для решения задач квадратичного программирования, и уравнения (4)–(6).

```
% sah762f.m
% Расчет цепи, состоящей из одиннадцати конденсаторов
c1=2; c2=5; c3=1; c4=4; c5=3; c6=7;
c7=2; c8=5; c9=4; c10=2; c11=3;
H=diag(1/2*[c1 c2 c3 c4 c5 c6 c7 c8 c9 c10 c11]);
f=[]; A=[]; b=[];
Aeq=[0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0;
     1 -1 0 0 -1 0 0 0 0 0 0;
     -1 0 0 0 0 1 -1 0 0 0 0;
       0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1;
     0 0 0 0 0 0 0 0 1 -1 -1;
     0 -1 1 0 0 0 0 1 0 -1 0];
beq=[0 0 0 0 0 -250]';
[x,J]=quadprog(2*H,f,A,b,Aeq,beq);
x
J=J*1e-06
% Проверка:
%[0 0 1 0 1 -1 0 0 -1 0 0]*x
%ans =
```

```
% -250
% Графические построения
[U1,U2]=meshgrid(25:0.2:35,20:0.2:30);
We1=((U1-29.8725).^2+5/2*(U2-25.1531).^2)*10^(-6);
mesh(U1,U2,We1)
```

Результаты расчета вектора $x = U$ согласно (5) получены в вольтах:

$$x = [29.8725\ \ 25.1531 - 111.6072\ \ 106.8878\ \ 4.7194\ \ 50.5212 \ldots$$
$$20.6487\ \ -28.8426\ \ 92.5910\ \ 84.397\ \ 8.1938],$$
$$J = 0.0674 \text{ Дж}.$$

По расчетным данным, полученным по формуле

$$\text{delt}\, J = [\{U1 - U0_1)^2 + (U2 - U0_2)^2,$$

где $U0_1$=29.8725В и $U0_2$=25.1531В — координаты стационарной точки, выполнено построение сетчатой поверхности, представленной на рис. 2.

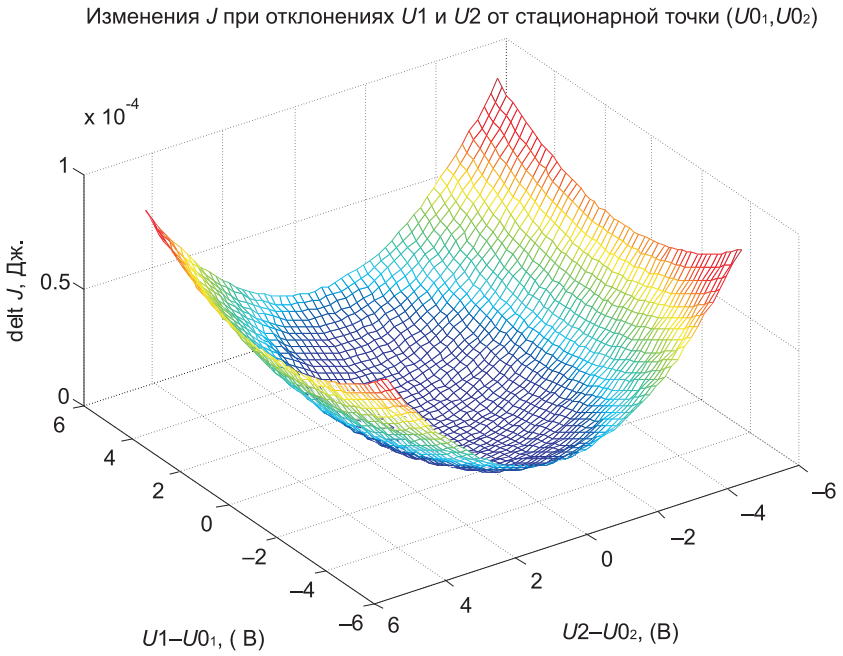


Рис. 2. Приращения критерия качества delt$J$ при отклонениях $U1$ и $U2$ от стационарной точки с координатами $U0_1$ и $U0_2$

Изменения критерия приведены в отклонениях от расчетного минимума в стационарной точке.

Список литературы

1. *Гантмахер Ф. Р.* Теория матриц / Ф. Р. Гантмахер. — М.: Наука, 1967. — 576 с.

2. *Mayer D.* Variations principle and circuit theory / D. Mayer // Czech. Časopis EE, 6. — 2000. — № 5.

3. *Veselić K.* Damped oscillations of linear systems — a mathematical introduction / K. Veselić. — Springer, 2011. — 202 p.

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

УДК 539.384: 629.12

К. О. Ломтева,
аспирант,
СПГУВК

РАСЧЕТ ИЗГИБА ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПАНЕЛИ ПАЛУБНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ СУДНА

BENDING RECTANGULAR PLATE CALCULATION FOR SHIP DECK

В статье приведено решение задачи изгиба прямоугольной плиты, защемленной по двум смежным кромкам и свободной по двум другим, под действием равномерной нагрузки. Использован итерационный метод суперпозиции исправляющих функций в виде гиперболо-тригонометрических рядов. Приведен пример расчета квадратной пластины.

The paper produces a solution for the problem of bending rectangular plate with two adjacent clamped edges and two others free under uniform load. Iteration method of correction function superposition in the form of hyperbolic-trigonometric series is employed. Numerical results for a square plate are presented.

Ключевые слова: прямоугольная пластина, две смежные стороны защемлены или свободны, изгиб, итерационный метод, ряды Фурье, точное решение, численные результаты.

Key words: rectangular plate, two adjacent clamped edgesor free, bending, iteration method, Fourier series, exactsolution, numerical results.

В ВИДЕ плит, защемленных по двум смежным граням и свободным по двум другим, выполняются элементы палубных перекрытий судов, раздвижные заслонки гидросооружений, козырьки зданий и т. д.

Рассмотрим пластину (панель) с размерами $a \times b$ в плане постоянной толщины h, нагруженную равномерной поперечной нагрузкой интенсивностью q_0. Края $X = 0$, $Y = 0$ защемлены, $X = a$, $Y = b$ — свободны. Введем безразмерные координаты $x = \frac{X}{b}$, $y = \frac{Y}{b}$, тогда размеры пластины будут $0 \le x \le \gamma$, $0 \le y \le 1$, где $\gamma = \frac{a}{b}$ (рис. 1).

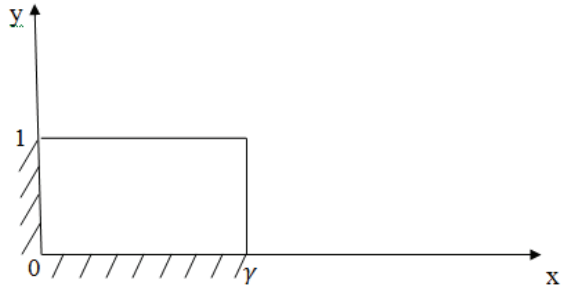


Рис. 1. Пластина, две смежные кромки которой защемлены, а две другие свободны

Искомая функция прогибов должна удовлетворять [1] дифференциальному уравнению изгиба:

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

и граничным условиям:

$$w = 0;\ \ \Theta_x = \frac{\partial w}{\partial x} = 0 \ \text{ при } x = 0, \tag{2}$$

$$\begin{cases} M_x = -\left(\dfrac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \dfrac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right) = 0, \\ V_x = -\left(\dfrac{\partial^3 w}{\partial x^3} + (2-\nu)\dfrac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2}\right) = 0 \end{cases} \quad \text{при } x = \gamma, \tag{3}$$

$$w = 0; \quad \Theta_y = \frac{\partial w}{\partial y} = 0 \quad \text{при } y = 0, \tag{4}$$

$$\begin{cases} M_y = -\left(\dfrac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \dfrac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right) = 0, \\ V_y = -\left(\dfrac{\partial^3 w}{\partial y^3} + (2-\nu)\dfrac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y}\right) = 0 \end{cases} \quad \text{при } y = 1, \tag{5}$$

$$H_{xy} = -\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = 0 \ \text{ в точке } (\gamma;\ 1). \tag{6}$$

Здесь w — безразмерный прогиб, отнесенный к величине $\frac{q_0 b^4}{D}$; D — цилиндрическая жесткость $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$; E — модуль Юнга, ν — коэффициент Пуассона; $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ — оператор Лапласа; M_x, M_y — изгибающие моменты по осям координат; V_x, V_y — перерезывающие силы; H_{xy} — сосредоточенная сила (крутящий момент).

Задача (1)–(6) не имеет точного решения в замкнутой форме. Будем решать ее итерационным методом суперпозиции исправляющих функций [2].

Частное решение уравнения (1), удовлетворяющее условиям отсутствия прогибов на защемленных кромках и перерезывающих сил на свободных кромках, а также условию (6), возьмем в виде многочлена:

$$w_0(x, y) = -\frac{1}{8}(x^2 - 2\gamma x)(y^2 - 2y). \tag{7}$$

Эта функция нарушает граничные условия по угловым деформациям в заделках, а также по изгибающим моментам на свободных гранях, то есть порождает невязки.

$$[\Theta_{x0}]_{x=0} = \frac{\gamma}{4}(y^2 - 2y); \ \ [M_{x0}]_{x=\gamma} = \frac{1}{4}(y^2 - 2y - \nu\gamma^2); \tag{8}$$

$$\left[\Theta_{y0}\right]_{y=0} = \frac{1}{4}(x^2 - 2\gamma x); \ \ \left[M_{y0}\right]_{y=1} = \frac{1}{4}(x^2 - 2\gamma x - \nu). \tag{9}$$

Сначала займемся невязками (8).

Для выполнения граничных условий (2), (3), то есть для устранения невязок (8), возьмем первую исправляющую функцию в виде:

$$\begin{aligned} w_{11}(x, y) = \sum_{k=1,3\ldots}^{\infty} [&A_{k1} sh\lambda_k (x-\gamma) + B_{k1} ch\lambda_k (x-\gamma) + \\ &+ C_{k1}(x-\gamma) ch\lambda_k (x-\gamma) + D_{k1}(x-\gamma) sh\lambda_k (x-\gamma)] \sin \lambda_k y. \end{aligned} \tag{10}$$

Этот ряд является бигармонической функцией (то есть удовлетворяет условию $\nabla^2\nabla^2 w = 0$) и удовлетворяет первому условию (4) и второму условию (5).

Здесь A_{k1}, B_{k1}, C_{k1}, Dk_1 — неопределенные коэффициенты; $\lambda_k = \frac{k\pi}{2}$.

Для нахождения этих коэффициентов разложим невязки (8) в ряд Фурье по $\sin \lambda_k y$, что дает

$$\left[\Theta_{x0}\right]_{x=0} = \frac{\gamma}{4}\left(y^2 - 2y\right) = \sum_{k=1,3...}^{\infty} \mathrm{v}_{k0} \sin\lambda_k y\,, \tag{11}$$

$$\left[M_{x0}\right]_{x=\gamma} = \frac{1}{4}\left(y^2 - 2y - v\gamma^2\right) = \sum_{k=1,3...}^{\infty} m_{k0} \sin\lambda_k y\,, \tag{12}$$

где $\mathrm{v}_{k0} = -\frac{\gamma}{\lambda_k^3}$, $m_{k0} = -\left(\frac{1}{\lambda_k^3} + \frac{v\gamma^2}{2\lambda_k}\right)$.

Так как эти разложения содержат только нечетные значения k, то и в ряде (10) $k = 1, 3, 5 \ldots$. При этом будет удовлетворяться условие (6). Удовлетворяя функцией (10) граничным условиям (2), (3), получим выражения для ее коэффициентов

$$\begin{cases} A_{k1} = -\frac{1+v}{\lambda_k \eta_k}\left\{\left[2cth\lambda_k\gamma - (1-v)\lambda_k\gamma\right]\frac{\mathrm{v}_{k0}}{sh\lambda_k\gamma} - \left(cth\lambda_k\gamma + \frac{\lambda_k\gamma}{sh^2\lambda_k\gamma}\right)\frac{m_{k0}}{\lambda_k}\right\} \\ B_{k1} = -\frac{1}{\lambda_k \eta_k}\left\{\left[1+v+(1-v)\lambda_k\gamma cth\lambda_k\gamma\right]\frac{2\mathrm{v}_{k0}}{sh\lambda_k\gamma} - \left(1+v+\frac{(1-v)\lambda_k^2\gamma^2}{sh^2\lambda_k\gamma}\right)\frac{m_{k0}}{\lambda_k}\right\} \\ C_{k1} = \frac{1-v}{1+v}\lambda_k A_{k1}, \quad D_{k1} = \frac{m_{k0}}{2\lambda_k} - \frac{1-v}{2}\lambda_k B_{k1} \end{cases} \tag{13}$$

Здесь коэффициенты C_{k1} и D_{k1} выражены через базовые коэффициенты A_{k1} и D_{k1}.

Исправляющая функция w_{11} на гранях $y = 0$ и порождает невязки:

$$\begin{aligned} \left[\Theta_{y1}\right]_{y=0} = \sum_{k=1,3...}^{\infty} \lambda_k [A_{k1} sh\lambda_k (x-\gamma) + B_{k1} ch\lambda_k (x-\gamma) + \\ + C_{k1}(x-\gamma)ch\lambda_k(x-\gamma) + D_{k1}(x-\gamma)sh\lambda_k(x-\gamma)], \end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned} \left[M_{y1}\right]_{y=1} = \sum_{k=1,3...}^{\infty} (-1)^{\tilde{k}+1}\lambda_k \{(1-v)\lambda_k sh\lambda_k(x-\gamma)A_{k1} + (1-v)\lambda_k ch\lambda_k(x-\gamma)B_{k1} + \\ + \left[(1-v)\lambda_k(x-\gamma)ch\lambda_k(x-\gamma) - 2vsh\lambda_k(x-\gamma)\right]C_{k1} + \\ + \left[(1-v)\lambda_k(x-\gamma)sh\lambda_k(x-\gamma) - 2vch\lambda_k(x-\gamma)\right]D_{k1}\}. \end{aligned} \tag{15}$$

Здесь $\tilde{k} = \frac{k+1}{2}$.

Разложим входящие в эти выражения функции от x в ряды Фурье по $\sin \mu_s x$, где $\mu_s = \frac{\pi s}{2\gamma}$, и подставим эти разложения и коэффициенты (13) в выражения (14), (15). Изменяя порядок суммирования, после преобразований получим

$$\left[\Theta_{y1}\right]_{y=0} = \sum_{s=1,3...}^{\infty} \mathrm{v}_{s1} \sin\mu_s x;\ \left[M_{y1}\right]_{y=1} = \sum_{s=1,3...}^{\infty} m_{s1} \sin\mu_s x\,, \tag{16}$$

где

$$\begin{aligned} \mathrm{v}_{s1} = -\frac{4}{\gamma}\sum_{k=1,3...}^{\infty} \frac{1}{\left(\lambda_k^2 + \mu_s^2\right)^2 \eta_k}\left[\lambda_k\mu_s G_{k0} - (-1)^{\tilde{s}}\left(\mu_s^2 + v\lambda_k^2\right)U_{k0}\right]; \\ m_{s1} = -\frac{4\mu_s}{\gamma}\sum_{k=1,3...}^{\infty} \frac{(-1)^{\tilde{k}+1}}{\left(\lambda_k^2 + \mu_s^2\right)\eta_k}\left[\left(\lambda_k^2 + v\mu_s^2\right)G_{k0} - (-1)^{\tilde{s}}(1-v)^2\lambda_k\mu_s U_{k0}\right]. \end{aligned} \tag{17}$$

В свою очередь здесь обозначено $\tilde{s} = \frac{s+1}{2}$.

$$G_{k0} = \left[(3+\nu) cth\lambda_k\gamma + (1-\nu)\frac{\lambda_k\gamma}{sh^2\lambda_k\gamma} \right](1-\nu)\lambda_k \mathrm{v}_{k0} + \left[2cth\lambda_k\gamma - (1-\nu)\lambda_k\gamma \right]\frac{m_{k0}}{sh\lambda_k\gamma},$$

$$U_{k0} = \left[2cth\lambda_k\gamma - (1-\nu)\lambda_k\gamma \right]\frac{\lambda_k \mathrm{v}_{k0}}{sh\lambda_k\gamma} - \left(cth\lambda_k\gamma + \frac{\lambda_k\gamma}{sh^2\lambda_k\gamma} \right) m_{k0}.$$

Невязки (16) от функции w_{11} следует сложить с аналогичными невязками (9) от функции w_0, которые также должны быть разложены в ряды Фурье по $\sin \mu_s x$:

$$\begin{aligned} \left[\Theta_{y0} \right]_{y=0} &= \frac{1}{4}\left(x^2 - 2\gamma x \right) = \sum_{s=1,3\ldots}^{\infty} \mathrm{v}_{s0} \sin\mu_s x; \\ \left[M_{y0} \right]_{y=1} &= \frac{1}{4}\left(x^2 - 2\gamma x - \nu \right) = \sum_{s=1,3\ldots}^{\infty} m_{s0} \sin\mu_s x, \end{aligned} \tag{18}$$

где

$$\mathrm{v}_{s0} = -\frac{1}{\gamma\mu_s^3}, \quad m_{s0} = -\frac{1}{\gamma}\left(\frac{1}{\mu_s^3} + \frac{\nu}{2\mu_s} \right). \tag{19}$$

Тогда

$$\begin{aligned} \left[\widetilde{\Theta}_{y1} \right]_{y=0} &= \left[\Theta_{y0} \right]_{y=0} + \left[\Theta_{y1} \right]_{y=0}; \quad \left[\widetilde{M}_{y1} \right]_{y=1} = \left[M_{y0} \right]_{y=1} + \left[M_{y1} \right]_{y=1}; \\ \left[\widetilde{\Theta}_{y1} \right]_{y=0} &= \sum_{s=1,3\ldots}^{\infty} \tilde{\mathrm{v}}_{s1} \sin\mu_s x; \quad \left[\widetilde{M}_{y1} \right]_{y=1} = \sum_{s=1,3\ldots}^{\infty} \widetilde{m}_{s1} \sin\mu_s x, \end{aligned} \tag{20}$$

где $\tilde{\mathrm{v}}_{s1} = \mathrm{v}_{s0} + \mathrm{v}_{s1}$; $\widetilde{m}_{s1} = m_{s0} + m_{s1}$.

Для устранения невязок (20) возьмем вторую исправляющую бигармоническую функцию:

$$\begin{aligned} w_{21}(x,y) = \sum_{s=1,3\ldots}^{\infty} [&\widetilde{A}_{s1} sh\mu_s (y-1) + \widetilde{B}_{s1} ch\mu_s (y-1) + \\ &+ \widetilde{C}_{s1}(y-1) ch\mu_s (y-1) + \widetilde{D}_{s1}(y-1) sh\mu_s (y-1)] \sin\mu_s x, \end{aligned} \tag{21}$$

коэффициенты которой найдутся из граничных условий (4), (5) и будут иметь вид, аналогичный (13):

$$\begin{cases} \widetilde{A}_{s1} = -\dfrac{1+\nu}{\mu_s\xi_s}\left\{ \left[2cth\mu_s - (1-\nu)\mu_s \right]\dfrac{\tilde{\mathrm{v}}_{s1}}{sh\mu_s} - \left(cth\mu_s + \dfrac{\mu_s}{sh^2\mu_s} \right)\dfrac{\widetilde{m}_{s1}}{\mu_s} \right\} \\ \widetilde{B}_{s1} = -\dfrac{1}{\mu_s\xi_s}\left\{ \left[1+\nu+(1-\nu)\mu_s cth\mu_s \right]\dfrac{2\tilde{\mathrm{v}}_{s1}}{sh\mu_s} - \left(1+\nu+\dfrac{(1-\nu)\mu_s^{\,2}}{sh^2\mu_s} \right)\dfrac{\widetilde{m}_{s1}}{\mu_s} \right\} \\ \widetilde{C}_{s1} = \dfrac{1-\nu}{1+\nu}\mu_s \widetilde{A}_{s1}, \quad \widetilde{D}_{s1} = \dfrac{\widetilde{m}_{s1}}{2\mu_s} - \dfrac{1-\nu}{2}\mu_s \widetilde{B}_{s1} \end{cases} \tag{22}$$

где $\xi_s = (3+\nu)(1-\nu) + \dfrac{(1-\nu)^2\mu_s^2 + 4}{sh^2\mu_s}$.

Невязки от w_{21} на гранях $x = 0$, $x = \gamma$:

$$\begin{aligned}
\left[\Theta_{x2}\right]_{x=0} &= \sum_{s=1,3...}^{\infty} \mu_s[\widetilde{A}_{s1} sh\mu_s (y-1) + \widetilde{B}_{s1} ch\mu_s (y-1) + \\
&+ \widetilde{C}_{s1}(y-1) ch\mu_s (y-1) + \widetilde{D}_{s1}(y-1) sh\mu_s (y-1)], \\
\left[M_{x2}\right]_{x=\gamma} &= \sum_{s=1,3...}^{\infty} (-1)^{\tilde{s}+1} \mu_s \{(1-\nu)\mu_s sh\mu_s (y-1)\widetilde{A}_{s1} + (1-\nu)\mu_s ch\mu_s (y-1)\widetilde{B}_{s1} + \\
&+ \left[(1-\nu)\mu_s (y-1) ch\mu_s (y-1) - 2\nu sh\mu_s (y-1)\right]\widetilde{C}_{s1} + \\
&+ \left[(1-\nu)\mu_s (y-1) sh\mu_s (y-1) - 2\nu ch\mu_s (y-1)\right]\widetilde{D}_{s1}\}.
\end{aligned} \tag{23}$$

Разложим внутренние функции по $\sin \lambda_k y$. Тогда невязки (23) примут вид

$$\left[\Theta_{x2}\right]_{x=0} = \sum_{k=1,3...}^{\infty} \nu_{k1} \sin\lambda_k y; \quad \left[M_{x2}\right]_{x=\gamma} = \sum_{k=1,3...}^{\infty} m_{k1} \sin\lambda_k y, \tag{24}$$

где

$$\nu_{k1} = -4 \sum_{s=1,3...}^{\infty} \frac{1}{\left(\lambda_k^2 + \mu_s^2\right)^2 \xi_s} \left[\lambda_k \mu_s G_{s1} - (-1)^{\tilde{k}} \left(\lambda_k^2 + \nu\mu_s^2\right) U_{s1}\right]; \tag{25}$$

$$m_{k1} = -4\lambda_k \sum_{s=1,3...}^{\infty} \frac{(-1)^{\tilde{s}+1}}{\left(\lambda_k^2 + \mu_s^2\right)\xi_s} \left[\left(\mu_s^2 + \nu\lambda_k^2\right) G_{s1} - (-1)^{\tilde{k}} (1-\nu)^2 \lambda_k \mu_s U_{s1}\right]. \tag{26}$$

Здесь, в свою очередь, обозначено

$$\begin{aligned}
G_{s1} &= \left[(3+\nu) cth\mu_s + (1-\nu)\frac{\mu_s}{sh^2\mu_s}\right](1-\nu)\mu_s \tilde{\nu}_{s1} + \left[2cth\mu_s - (1-\nu)\mu_s\right]\frac{\widetilde{m}_{s1}}{sh\mu_s}, \\
U_{s1} &= \left[2cth\mu_s - (1-\nu)\mu_s\right]\frac{\mu_s \tilde{\nu}_{s1}}{sh\mu_s} - \left(cth\mu_s + \frac{\mu_s}{sh^2\mu_s}\right)\widetilde{m}_{s1}.
\end{aligned}$$

Невязки (23) компенсируем функцией, аналогичной (10):

$$\begin{aligned}
w_{12}(x,y) &= \sum_{k=1,3...}^{\infty} [A_{k2} sh\lambda_k (x-\gamma) + B_{k2} ch\lambda_k (x-\gamma) + \\
&+ C_{k2}(x-\gamma) ch\lambda_k (x-\gamma) + D_{k2}(x-\gamma) sh\lambda_k (x-\gamma)]\sin\lambda_k y.
\end{aligned} \tag{27}$$

Коэффициенты ряда примут вид (аналогично (13)):

$$\begin{cases}
A_{k2} = -\dfrac{1+\nu}{\lambda_k \eta_k}\left\{\left[2cth\lambda_k\gamma - (1-\nu)\lambda_k\gamma\right]\dfrac{\nu_{k1}}{sh\lambda_k\gamma} - \left(cth\lambda_k\gamma + \dfrac{\lambda_k\gamma}{sh^2\lambda_k\gamma}\right)\dfrac{m_{k1}}{\lambda_k}\right\} \\
B_{k2} = -\dfrac{1}{\lambda_k \eta_k}\left\{\left[1+\nu+(1-\nu)\lambda_k\gamma cth\lambda_k\gamma\right]\dfrac{2\nu_{k1}}{sh\lambda_k\gamma} - \left(1+\nu+\dfrac{(1-\nu)\lambda_k^2\gamma^2}{sh^2\lambda_k\gamma}\right)\dfrac{m_{k1}}{\lambda_k}\right\} \\
C_{k2} = \dfrac{1-\nu}{1+\nu}\lambda_k A_{k2}, \quad D_{k2} = \dfrac{m_{k1}}{2\lambda_k} - \dfrac{1-\nu}{2}\lambda_k B_{k2}
\end{cases} \tag{28}$$

Далее все повторяется.

Приведем сводку формул для организации вычислительного процесса:

$$\lambda_k = \frac{k\pi}{2}; \quad \mu_s = \frac{\pi s}{2\gamma}; \quad k, s = 1, 3, 5 \ldots; \; \tilde{k} = \frac{k+1}{2}; \quad \tilde{s} = \frac{s+1}{2};$$

$$\mathrm{v}_{k0} = -\frac{\gamma}{\lambda_k^3}; \quad m_{k0} = -\left(\frac{1}{\lambda_k^3} + \frac{v\gamma^2}{2\lambda_k}\right); \quad \mathrm{v}_{s0} = -\frac{1}{\gamma\mu_s^3}; \quad m_{s0} = -\frac{1}{\gamma}\left(\frac{1}{\mu_s^3} + \frac{v}{2\mu_s}\right);$$

$$\eta_k = (3+v)(1-v) + \frac{(1-v)^2\lambda_k^2\gamma^2 + 4}{sh^2\lambda_k\gamma}; \quad \xi_s = (3+v)(1-v) + \frac{(1-v)^2\mu_s^2 + 4}{sh^2\mu_s};$$

$$\begin{cases} \mathrm{v}_{sn} = -\dfrac{4}{\gamma}\displaystyle\sum_{k=1,3\ldots}^{\infty} \frac{1}{\left(\lambda_k^2 + \mu_s^2\right)^2 \eta_k}\left[\lambda_k\mu_s G_{k(n-1)} - (-1)^{\tilde{s}}\left(\mu_s^2 + v\lambda_k^2\right)U_{k(n-1)}\right] \\ m_{sn} = -\dfrac{4\mu_s}{\gamma}\displaystyle\sum_{k=1,3\ldots}^{\infty} \frac{(-1)^{\tilde{k}+1}}{\left(\lambda_k^2 + \mu_s^2\right)\eta_k}\left[\left(\lambda_k^2 + v\mu_s^2\right)G_{k(n-1)} - (-1)^{\tilde{s}}(1-v)^2\lambda_k\mu_s U_{k(n-1)}\right] \end{cases},$$

где

$$G_{k(n-1)} = \left[(3+v)cth\lambda_k\gamma + (1-v)\frac{\lambda_k\gamma}{sh^2\lambda_k\gamma}\right](1-v)\lambda_k\mathrm{v}_{k(n-1)} + \left[2cth\lambda_k\gamma - (1-v)\lambda_k\gamma\right]\frac{m_{k(n-1)}}{sh\lambda_k\gamma};$$

$$U_{k(n-1)} = \left[2cth\lambda_k\gamma - (1-v)\lambda_k\gamma\right]\frac{\lambda_k\mathrm{v}_{k(n-1)}}{sh\lambda_k\gamma} - \left(cth\lambda_k\gamma + \frac{\lambda_k\gamma}{sh^2\lambda_k\gamma}\right)m_{k(n-1)};$$

$$\begin{cases} \mathrm{v}_{kn} = -4\displaystyle\sum_{s=1,3\ldots}^{\infty} \frac{1}{\left(\lambda_k^2 + \mu_s^2\right)^2 \xi_s}\left[\lambda_k\mu_s G_{sn} - (-1)^{\tilde{k}}\left(\lambda_k^2 + v\mu_s^2\right)U_{sn}\right] \\ m_{kn} = -4\lambda_k\displaystyle\sum_{s=1,3\ldots}^{\infty} \frac{(-1)^{\tilde{s}+1}}{\left(\lambda_k^2 + \mu_s^2\right)\xi_s}\left[\left(\mu_s^2 + v\lambda_k^2\right)G_{sn} - (-1)^{\tilde{k}}(1-v)^2\lambda_k\mu_s U_{sn}\right] \end{cases};$$

$$G_{sn} = \left[(3+v)cth\mu_s + (1-v)\frac{\mu_s}{sh^2\mu_s}\right](1-v)\mu_s\mathrm{v}_{sn} + \left[2cth\mu_s - (1-v)\mu_s\right]\frac{m_{sn}}{sh\mu_s};$$

$$U_{sn} = \left[2cth\mu_s - (1-v)\mu_s\right]\frac{\mu_s\mathrm{v}_{sn}}{sh\mu_s} - \left(cth\mu_s + \frac{\mu_s}{sh^2\mu_s}\right)m_{sn}.$$

Если $n = 1 \quad \Rightarrow \quad \mathrm{v}_{s1} + \mathrm{v}_{s0} = \tilde{\mathrm{v}}_{s1}; \quad m_{s1} + m_{s0} = \tilde{m}_{s1};$

$$\mathrm{v}_{k\text{сум}} = \mathrm{v}_{k0} + \mathrm{v}_{k1} + \ldots = \sum_{n=0,1,2\ldots}\mathrm{v}_{kn}; \quad m_{k\text{сум}} = \sum_{n=0,1,2\ldots} m_{kn}; \quad \mathrm{v}_{s\text{сум}} = \sum_{n=0,1,2\ldots}\mathrm{v}_{sn}; \quad m_{s\text{сум}} = \sum_{n=0,1,2\ldots} m_{sn}.$$

Суммарные значения коэффициентов рядов (по всем итерациям):

$$\begin{cases} A_{k\text{сум}} = -\dfrac{1+\nu}{\lambda_k \eta_k}\left\{\left[2cth\lambda_k\gamma - (1-\nu)\lambda_k\gamma\right]\dfrac{\mathrm{v}_{k\text{сум}}}{sh\lambda_k\gamma} - \left(cth\lambda_k\gamma + \dfrac{\lambda_k\gamma}{sh^2\lambda_k\gamma}\right)\dfrac{m_{k\text{сум}}}{\lambda_k}\right\} \\ B_{k\text{сум}} = -\dfrac{1}{\lambda_k \eta_k}\left\{\left[1+\nu+(1-\nu)\lambda_k\gamma cth\lambda_k\gamma\right]\dfrac{2\mathrm{v}_{k\text{сум}}}{sh\lambda_k\gamma} - \left(1+\nu+\dfrac{(1-\nu)\lambda_k^2\gamma^2}{sh^2\lambda_k\gamma}\right)\dfrac{m_{k\text{сум}}}{\lambda_k}\right\} \\ C_{k\text{сум}} = \dfrac{1-\nu}{1+\nu}\lambda_k A_{k\text{сум}}, \quad D_{k\text{сум}} = \dfrac{m_{k\text{сум}}}{2\lambda_k} - \dfrac{1-\nu}{2}\lambda_k B_{k\text{сум}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \widetilde{A}_{s\text{сум}} = -\dfrac{1+\nu}{\mu_s \xi_s}\left\{\left[2cth\mu_s - (1-\nu)\mu_s\right]\dfrac{\mathrm{v}_{s\text{сум}}}{sh\mu_s} - \left(cth\mu_s + \dfrac{\mu_s}{sh^2\mu_s}\right)\dfrac{m_{s\text{сум}}}{\mu_s}\right\} \\ \widetilde{B}_{s\text{сум}} = -\dfrac{1}{\mu_s \xi_s}\left\{\left[1+\nu+(1-\nu)\mu_s cth\mu_s\right]\dfrac{2\mathrm{v}_{s\text{сум}}}{sh\mu_s} - \left(1+\nu+\dfrac{(1-\nu)\mu_s^{\,2}}{sh^2\mu_s}\right)\dfrac{m_{s\text{сум}}}{\mu_s}\right\} \\ \widetilde{C}_{s\text{сум}} = \dfrac{1-\nu}{1+\nu}\mu_s \widetilde{A}_{s\text{сум}}, \quad \widetilde{D}_{s\text{сум}} = \dfrac{m_{s\text{сум}}}{2\mu_s} - \dfrac{1-\nu}{2}\mu_s \widetilde{B}_{s\text{сум}} \end{cases}$$

Прогиб

$$w(x,y) = w_0(x,y) + \sum_{n=1}^{\infty} w_{1n}(x,y) + w_{2n}(x,y); \quad w_0(x,y) = -\frac{1}{8}\left(x^2 - 2\gamma x\right)\left(y^2 - 2y\right),$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} w_{1n}(x,y) = \sum_{k=1,3\ldots}^{\infty} [A_{k\text{сум}} sh\lambda_k(x-\gamma) + B_{k\text{сум}} ch\lambda_k(x-\gamma) +$$

$$+ C_{k\text{сум}}(x-\gamma)ch\lambda_k(x-\gamma) + D_{k\text{сум}}(x-\gamma)sh\lambda_k(x-\gamma)]\sin\lambda_k y,$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} w_{2n}(x,y) = \sum_{s=1,3\ldots}^{\infty} [\widetilde{A}_{s\text{сум}} sh\mu_s(y-1) + \widetilde{B}_{s\text{сум}} ch\mu_s(y-1) +$$

$$+ \widetilde{C}_{s\text{сум}}(y-1)ch\mu_s(y-1) + \widetilde{D}_{s\text{сум}}(y-1)sh\mu_s(y-1)]\sin\mu_s x.$$

По приведенному алгоритму в системе аналитических вычислений Maple была составлена программа вычисления относительных прогибов пластины. В качестве примера рассматривалась квадратная пластина. В рядах удерживались 199 членов; число итераций 17. Дальнейшее увеличение числа членов и числа итераций изменяло лишь пятую значащую цифру. Максимальный прогиб составил –0,043605 в углу (γ, 1), где сходятся свободные кромки. На рис. 2 приведена изогнутая поверхность пластины. График показывает, что граничные условия задачи выполнены точно.

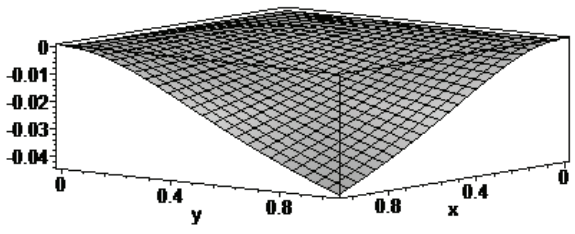


Рис. 2. Форма изогнутой поверхности квадратной пластины

Зная функцию прогибов, нетрудно получить выражения для изгибающих моментов и перерезывающих сил, а по ним вычислить напряжения в любой точке пластины.

Список литературы

1. *Тимошенко С. П.* Пластинки и оболочки / С. П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. — М.: Физматгиз, 1963. — 635 с.

2. *Сухотерин М. В.* Метод суперпозиции исправляющих функций в задачах теории пластин / М. В. Сухотерин. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. — 265 с.

УДК 629.5.081

Р. Н. Ларин,
генеральный директор
ООО «НПО «АЛЬБАТРОС»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ СУДОВЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ СУХОГО ЛЬДА

TECHNOLOGICAL FEATURES OF BLAST CLEANING OF SHIPI'S STRUCTURES STEEL WITH THE HELP OF DRY ICE

Теоретическое обоснование струйных процессов очистки металлоконструкций, проведение анализа современных средств технического оснащения антикоррозионного производства необходимы при исследовании и внедрении новой технологии струйной очистки сухим льдом (СОСЛ) для судостроительного и судоремонтного производства. Реализация СОСЛ увеличивает эффективность очистки, обеспечивает экологичность процесса, существенно сокращает затраты на производство очистных работ, что в целом обеспечивает конкурентоспособность судостроительной и судоремонтной продукции.

Theoretical justification of jet cleaning process of metal, analysis of modern technical equipment for anticorrosion processing are necessary for the study and implementation of a new technology of dry ice blasting (BDI) for shipbuilding and ship repair production. Implementing of BDI increases cleaning efficiency, ensures sustainability of the process, significantly reducing the cost of production of clean-up that, in general, provides a competitive shipbuilding and repair products.

Ключевые слова: теория, технология, струйный метод очистки, сухой лед, гранулы, оборудование, судостроение, судоремонт, экологичность.

Key words: theory, technology, jet cleaning method, dry ice, pellets, equipment, shipbuilding, ship repair, environmental friendliness.

В НАСТОЯЩЕЕ время технология СОСЛ в антикоррозионных работах в российской судостроительной и судоремонтной промышленности не применяется.

Эффективность внедрения в судостроительном и судоремонтном производстве метода струйной очистки сухим льдом (СОСЛ) в значительной мере связана с техническим оснащением предприятий соответствующим технологическим оборудованием.

Актуальность темы заключается в разработке новой технологии подготовки поверхности в процессе антикоррозионной обработки судовых металлоконструкций, позволяющей значительно снизить производственные и экологические затраты [1, с. 282–284].

В настоящей статье использованы теоретические исследования, расчеты по теории газов и гидродинамики, обобщены материалы иностранных производителей оборудования для струйной очистки сухим льдом, выполнен анализ и обобщен опыт практического применения технологии СОСЛ на ремонтирующихся судах.

Введение

Новые технологии требуют глубокой теоретической подготовки и современного технического оснащения. Для теоретического обоснования струйных технологий очистки с применением сжатого воздуха и дискретных абразивов рассмотрим физику свободной изотермической струи круглого сечения с равномерным полем скоростей.

Так, из круглого отверстия вытекает воздух, образуя струю круглого сечения (рис. 1). Считаем, что поле скоростей в выпускном отверстии равномерно [2, с. 113–116; 3, с. 39–41].

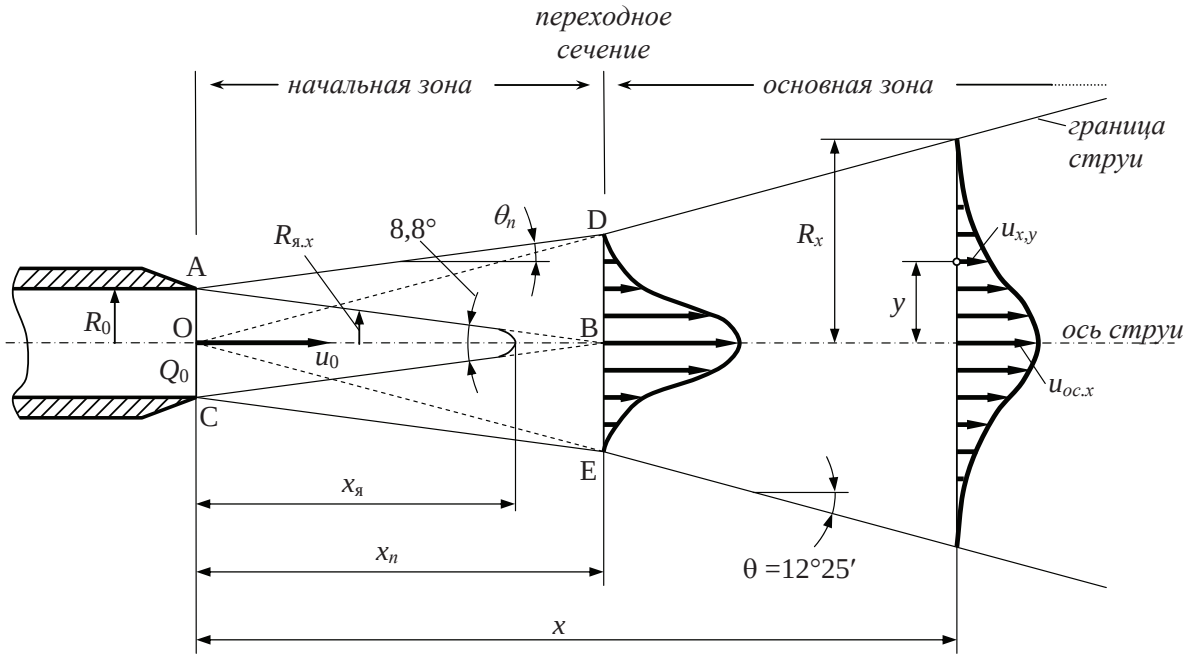


Рис. 1. Вид свободной струи круглого сечения с равномерным начальным полем скоростей: $x_я$ — длина ядра; x_n — длина начальной зоны; x, y — текущие координаты

Относительный радиус струи определяется как:

$$\overline{R}_x = \frac{R_x}{R_0} = \frac{R_0 + x \cdot \mathrm{tg}\theta_n}{R_0} = 1 + \overline{x} \cdot \mathrm{tg}\theta_n, \qquad (1)$$

где R_0 — радиус выпускного отверстия;

x — расстояние от выпускного отверстия до рассматриваемого сечения (текущая координата x);

$\overline{x} = x / R_0$ — относительная координата (относительная абсцисса);

R_x — радиус струи в рассматриваемом сечении (на расстоянии x от выпускного отверстия);

θ_n — боковой угол расширения струи на начальном участке.

Соответственно относительный объемный расход равен

$$\overline{L}_x = \frac{L_x}{L_0} = \frac{L_{я.x} + L_{n.x}}{L_0} = \overline{L}_{я.x} + \overline{L}_{n.x}, \qquad (2)$$

где L_0 — объемный расход в выпускном отверстии;

$L_{я.x}$, $L_{n.x}$ — объемные расходы в рассматриваемом сечении соответственно в ядре постоянных скоростей и пограничном слое.

В свою очередь относительный объемный расход в ядре постоянных скоростей найдем как:

$$\overline{L}_{я.x} = \frac{L_{я.x}}{L_0} = \frac{\pi R_{я.x}^2 u_0}{\pi R_0^2 u_0} = \overline{R}_{я.x}^2, \qquad (3)$$

где $R_{я.x}$ — радиус ядра постоянных скоростей в текущем сечении.

Относительный объемный расход в пограничном слое определяем как:

$$\overline{L}_{n.x} = \frac{L_{n.x}}{L_0} = \frac{\pi \cdot \left(R_x^2 - R_{я.x}^2\right) \cdot u_{\mathrm{ср}.n.x}}{\pi R_0^2 u_0} = \left(\overline{R}_x^2 - \overline{R}_{я.x}^2\right) \cdot \overline{u}_{\mathrm{ср}.n.x}, \qquad (4)$$

где $u_{\mathrm{ср}.n.x}$ — средняя скорость в пограничном слое рассматриваемого сечения.

Воспользуемся знанием о свойстве струи, тогда

$$m_{я.x} \cdot u_0 + m_{n.x} \cdot u_{ср.n.x} = m_0 \cdot u_0, \quad (5)$$

где $m_{я.x}$ $m_{n.x}$, m_0 — массы (секундные) воздуха, проходящие соответственно через площади сечений ядра и пограничного слоя (в текущем сечении), а также через площадь выпускного отверстия, то есть:

$$m_{я.x} = \rho\pi R_{я.x}^2 u_0,$$

$$m_{n.x} = \rho\pi\left(R_x^2 - R_{я.x}^2\right) \cdot u_{ср.n.x},$$

$$m_0 = \rho\pi R_0^2 u_0.$$

Подставляя эти выражения в формулу количеств движения, получим

$$\rho\pi R_{я.x}^2 u_0^2 + \rho\pi\left(R_x^2 - R_{я.x}^2\right) \cdot u_{ср.n.x}^2 \beta = \rho\pi R_0^2 u_0^2, \quad (6)$$

где β — коэффициент Буссинеска.

Далее, выполняя преобразования, получим

$$\overline{R}_{я.x}^2 + \beta\left(\overline{R}_x^2 - \overline{R}_{я.x}^2\right) \cdot \overline{u}_{ср.n.x}^2 = 1. \quad (7)$$

Решив это равенство при радиусе ядра постоянных скоростей, найдем

$$\overline{R}_{я.x}^2 = \frac{1 - \beta \cdot \overline{R}_x^2 \cdot \overline{u}_{ср.n.x}^2}{1 - \beta \cdot \overline{u}_{ср.n.x}^2}. \quad (8)$$

Тогда относительная средняя скорость в поперечном сечении пограничного слоя определится как

$$\overline{u}_{ср.n.x} = u_{ср.n.x} / u_0 = k.$$

Величину k также называют коэффициентом поля скоростей.

Далее, подставляя полученные величины $\overline{R}_x, \overline{R}_{я.x}, \overline{u}_{ср.n.x}$ в формулы для относительных объемных расходов в ядре, найдем

$$\overline{L}_я = 1 - \frac{k^2\beta}{1 - k^2\beta}\left(2 + \overline{x} \cdot \mathrm{tg}\theta_n\right) \cdot \overline{x} \cdot \mathrm{tg}\theta_n, \quad (9)$$

$$\overline{L}_n = \frac{k}{1 - k^2\beta}\left(2 + \overline{x} \cdot \mathrm{tg}\theta_n\right) \cdot \overline{x} \cdot \mathrm{tg}\theta_n. \quad (10)$$

Рассчитаем относительный объемный расход в текущем сечении начального участка:

$$\overline{L} = 1 + \frac{2k\left(1 - k\beta\right)}{1 - k^2\beta} \cdot \overline{x} \cdot \mathrm{tg}\theta_n + \frac{k\left(1 - k\beta\right)}{1 - k^2\beta} \cdot \overline{x}^2 \cdot \mathrm{tg}^2\theta_n. \quad (11)$$

Относительная средняя скорость в поперечном сечении струи равна

$$\overline{u}_{ср.x} = \frac{u_{ср.x}}{u_0} = \frac{L_x}{\pi R_x^2} \cdot \frac{\pi R_0^2}{L_0} = \frac{\overline{L}}{\overline{R}_x^2} = \frac{1 + \frac{2k\left(1 - k\beta\right)}{1 - k^2\beta} \cdot \overline{x} \cdot \mathrm{tg}\theta_n + \frac{k\left(1 - k\beta\right)}{1 - k^2\beta} \cdot \overline{x}^2 \cdot \mathrm{tg}^2\theta_n}{\left(1 + \overline{x} \cdot \mathrm{tg}\theta_n\right)^2}. \quad (12)$$

То есть относительная скорость на оси струи равна

$$\overline{u}_{ос.x} = u_{ос.x} / u_0 = u_0 / u_0 = 1. \quad (13)$$

Теперь относительный радиус струи на основном участке найдем как:

$$\overline{R}_x = \frac{R_x}{R_0} = \frac{x \cdot \mathrm{tg}\theta}{R_0} = \overline{x} \cdot \mathrm{tg}\theta, \quad (14)$$

где θ — боковой угол расширения струи на основном участке;

Итак, для текущего сечения на расстоянии x от выпускного отверстия и выпускного отверстия можно записать

$$\rho\pi R_x^2 \cdot u_{ср.x}^2 \beta = \rho\pi R_0^2 u_0^2 . \quad (15)$$

Разделив обе части этого выражения на $\rho\pi R_0^2 u_0^2$, получим

$$\beta \overline{R}_x^2 \overline{u}_{\text{ср.}x}^2 = 1 . \quad (16)$$

Таким образом, относительная средняя скорость равна:

$$\overline{u}_{\text{ср.}x} = \frac{u_{\text{ср.}x}}{u_0} = \frac{1}{\overline{R}_x \sqrt{\beta}} = \frac{1}{\overline{x} \cdot \text{tg}\theta \cdot \sqrt{\beta}} . \quad (17)$$

Относительная скорость на оси струи будет равна

$$\overline{u}_{\text{ос}} = \frac{u_{\text{ос}}}{u_0} = \frac{1}{k} \overline{u}_{\text{ср}} = \frac{1}{k \cdot \sqrt{\beta} \cdot \overline{x} \cdot \text{tg}\theta} . \quad (18)$$

Отсюда относительный объемный расход найдем как

$$\overline{L}_x = \frac{L_x}{L_0} = \frac{\pi R_x^2 u_{\text{ср.}x}}{\pi R_0^2 u_0} = \overline{R}_x^2 \cdot \overline{u}_{\text{ср.}x} = \frac{1}{\sqrt{\beta}} \overline{x} \cdot \text{tg}\theta . \quad (19)$$

Таким образом, расчетная формула для переходного сечения, считая, что $\overline{u}_{\text{ос}} = 1$:

$$\overline{x}_{\text{пер}} = \frac{1}{k \cdot \sqrt{\beta} \cdot \text{tg}\theta} . \quad (20)$$

Выполнив соответствующие подстановки, получим необходимые коэффициенты:

$$\overline{R}_{\text{пер}} = \frac{1}{k \cdot \sqrt{\beta}} , \quad u_{\text{ср.пер}} = k , \quad u_{\text{ос.пер}} = 1 , \quad \overline{L}_{\text{пер}} = \frac{1}{k\beta} . \quad (21)$$

Примем: коэффициент поля скоростей — k = 0,258, коэффициент Буссинеска — β = 2,02, коэффициент Кариолиса — α = 4,06, тангенс угла расширения струи на начальном участке — $\text{tg}\theta_n$ = 0,14, а тангенс угла расширения струи на основном участке примем $\text{tg}\theta = \text{tg}12°25' = 0,22$.

Используя предложенное теоретическое обоснование, получим необходимые расчетные формулы для подбора параметров струи круглого сечения с равномерным начальным полем скоростей для струй разной плотности и различного наполнения (табл. 1) [4, с. 213–245].

Таблица 1 позволяет рассчитать конфигурацию сопел в зависимости от скорости плотности струи с простым или комбинированным абразивом, исходя из знаний об относительном объемном расходе носителя и относительной скорости в поперечном сечении сопла.

Таблица 1

Расчетные формулы для подбора параметров струи

Относительная величина	Значение относительной величины		
	в начальной зоне	в переходном сечении	в основной зоне
Тангенс бокового угла расширения струи tgθ	$\text{tg}\theta_n = 0,14$	—	$\text{tg}\theta = 0,22$
Относительное расстояние от отверстия $\overline{x} = x / R_0$	≤ 12,4	12,4	≥ 12,4
Относительный радиус струи $\overline{R}_x = R_x / R_0$	$1 + 0,14 \cdot \overline{x}$	2,73	$0,2 \cdot \overline{x}$

Таблица 1
(*Окончание*)

Относительная средняя скорость $\overline{u}_{\text{ср.}x} = u_{\text{ср.}x} / u_0$	$\frac{1+0{,}0396\cdot\overline{x}+0{,}00278\cdot\overline{x}^2}{(1+0{,}14\cdot\overline{x})^2}$	0,258	$\frac{3{,}2}{\overline{x}}$
Относительная осевая скорость $\overline{u}_{\text{ос.}x} = u_{\text{ос.}x} / u_0$	1	1	$\frac{12{,}4}{\overline{x}}$
Относительная скорость в поперечном сечении $\overline{u}_{x,y} = u_{x,y} / u_{\text{ос.}x}$	В зоне ядра: $\overline{u}_{x,y} = 1$ В пограничном слое: $\overline{u}_{x,y} = \left(1-\overline{y}^{1,5}\right)^2$ $\overline{y} = (y - R_{\text{я.}x})/(R_x - R_{\text{я.}x})$	$\overline{u}_{x,y} = \left(1-\overline{y}^{1,5}\right)^2$ $\overline{y} = y / R_x$	
Относительный объемный расход $\overline{Q}_x = Q_x / Q_0$	$1+0{,}0396\cdot\overline{x}+0{,}00278\cdot\overline{x}^2$	1,92	$0{,}155\cdot\overline{x}$
Относительная кинетическая энергия $\overline{E}_x = E_x / E_0$	$1-0{,}0206\cdot\overline{x}-0{,}00141\cdot\overline{x}^2$	0,518	$\frac{6{,}42}{\overline{x}}$

Эффективность и стабильность работы струйного аппарата определяется не только его конструктивными параметрами, а также геометрическими параметрами применяемых с ним сопел-насадок — диаметр и длина сопла, угол сходимости смесительного сопла, размеры камеры смешения и т. д. Сопла-насадки для струйной очистки подразделяются на следующие типы: сопла для одношланговой системы, сопла для двухшланговой системы. На рис. 2 представлено устройство двух типов сопел, используемых в процессе очистки поверхностей сухим льдом.

В настоящее время производители струйного оборудования для подачи сухого льда предлагают широкий выбор принадлежностей, включая широкий выбор сопел-насадок, в зависимости от доступных параметров сжатого воздуха (рис. 3), для того чтобы увеличить скорость очистки, результат очистки [5, с. 55–58].

Сравнение двух типов сопел при работе в одинаковых условиях показывает, что одношланговая система с соответствующей насадкой работает более эффективно. Так как размер частиц влияет на процесс очистки, система очистки должна иметь регулировку размеров частиц. Это может быть достигнуто путем производства гранул необходимого размера и путем изменения толщины и внутреннего покрытия шланга. Сопло может быть изготовлено конструктивно таким, чтобы наиболее эффективно создавать поток струи воздействия. Эта конструктивная возможность сопла может быть использована по отдельности или вместе — для регулировки размера гранул, скорости и плотности струи.

При использовании сухого льда для струйной очистки размер сопла подбирается почти так же, как для струйной очистки песком или другим подобным абразивом. Однако при очистке гранулами сухого льда, размер выходного отверстия сопла должен быть немного больше частиц льда. В табл. 2 показаны приблизительные размеры выходного отверстия сопла для различных уровней давления струи сухого льда при стандартном потоке воздуха (5,6 м^3/мин) и стандартном потоке частиц, типичном для струйной очистки.

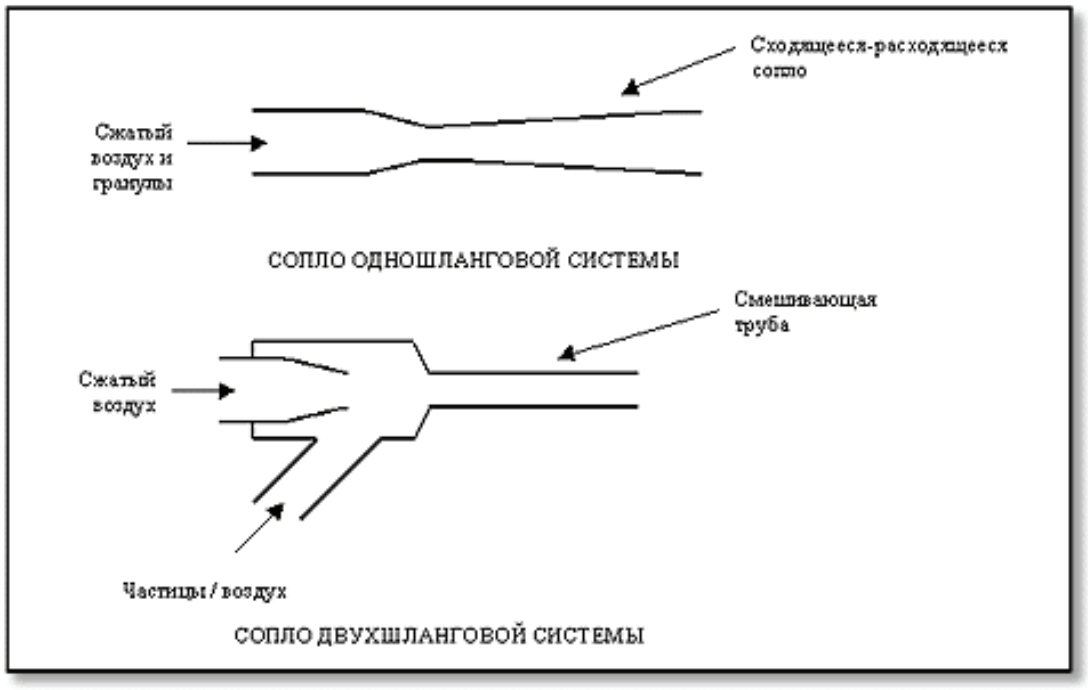
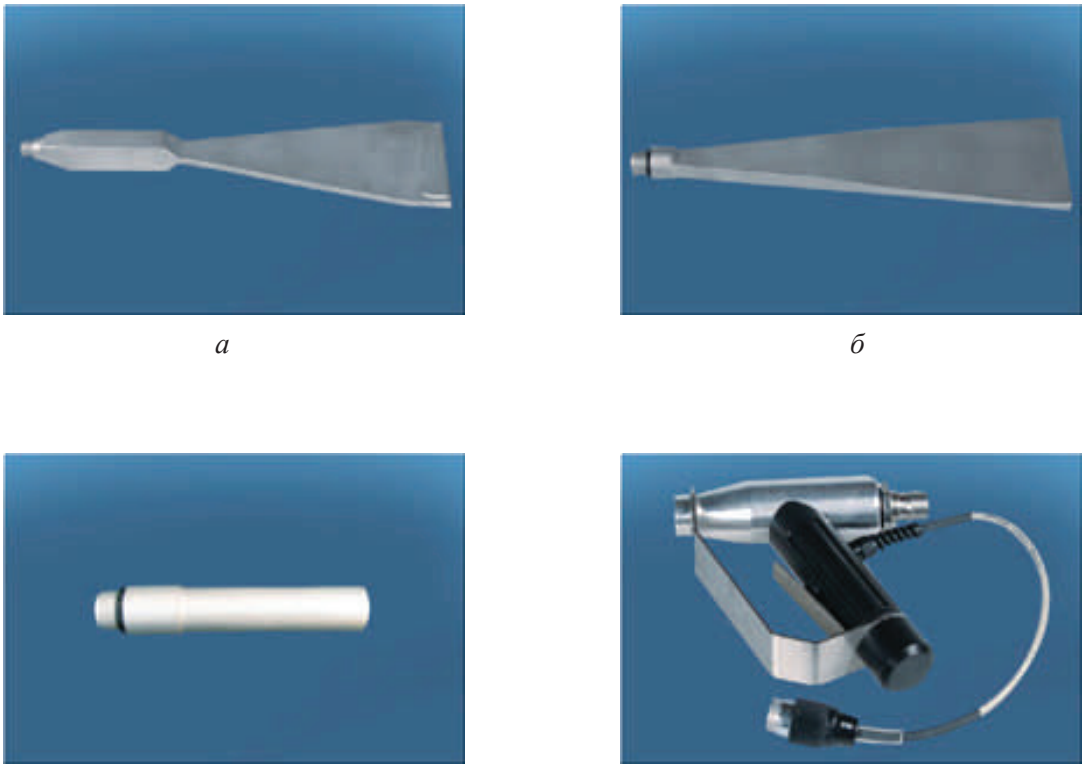


Рис. 2. Типы сопла для очистки гранулами сухого льда



а *б*

в *г*

Рис. 3. Струйная оснастка:
сопло плоское 85 мм (*а*); сопло плоское 135 мм (*б*);
сопло круглое 100/15 (*в*); струйный пистолет (*г*)

Таблица 2

Отношение давления к выходному отверстию сопла

Давление струи, бар	Диаметр выходного отверстия, мм
5,5	9,1
8,0	7,6
17,0	5,5

Для реализации технологии СОСЛ применяется следующее оборудование: льдообразователь (пеллетайзер, блок-мейкер), регенератор, струйный аппарат (бластер), компрессор. Все оборудование, предлагаемое различными фирмами на сегодняшний день, является надежным, мобильным и простым в использовании, что подтверждается его применением в разных областях промышленности.

Примеры льдообразователей (пеллетайзеры) и их технические характеристики представлены в табл. 3.

Таблица 3

Технические характеристики оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Габаритные размеры, мм	Диаметр гранул, мм	Производительность, кг/ч	Энергопотребление, кВт	Вес, кг
1	Пеллетайзер А120Р (фирма **“ASCO”)**	1320×700×1439	1,7; 3; 6; 10; 16	120	4	360
2	Пеллетайзер Р600 (фирма **“ASCO”)**	1700×1100×2745	3; 10; 16	600	11	1450
3	Блок-мейкер ВР407 (фирма **“ASCO”)**	1700×900×3300	3; 10; 16	Гранул — 400, брикетов — 300, блоков — 350	11	1900



Рис. 4. Пеллетайзер А120Р



Рис. 5. Пеллетайзер Р600



Рис. 6. Блок-мейкер ВР407

Конструктивно пеллетайзер представляет собой полностью автоматизированный аппарат с гидравлическим приводом для длительного и непрерывного процесса производства гранул. Рабочие параметры задаются и контролируются при помощи встроенного микропроцессора. Имеется возможность в течение нескольких секунд изменять диаметр выпускаемых гранул (с помощью сменных фильер). Гранулы производятся путем пропускания через форму под высоким давле-

нием. Такой процесс производит гранулы максимальной плотности для увеличения энергии воздействия гранул. Гранулы могут варьироваться в диаметре от 1 до 10 мм. Чем «свежее» и плотнее гранулы сухого льда, тем выше эффективность очистки [5].

Блок-мейкер предназначен для производства гранул, брикетов и блоков сухого льда. Технологический процесс полностью автоматизирован. Производство сухого льда может осуществляться в непрерывном режиме с элементами автоматического самоконтроля. Блок-мейкер позволяет изготавливать брикеты различной толщины (10 видов). Упаковка брикетов может осуществляться при помощи дополнительного устройства — автоматической упаковочной линии с автоматическим контролем качества выпускаемой продукции. В процессе производства сухого льда может осуществляться вторичная переработка CO_2 [6].

Сухой лед (гранулы, брикеты, блоки) доставляется на производство в изолированных термоконтейнерах.

Возможность выработки гранулированного сухого льда в любое время с помощью льдообразователя обеспечивает оперативную интеграцию очистных работ в производственный цикл предприятия.

Использование гранул, выработанных прямо перед применением, позволяет вдвое сократить время очистки в сравнении с обработкой гранулами, хранящимися несколько дней, и одновременно значительно снизить расход сухого льда. Таким образом, производство сухого льда своими силами упрощает планирование производственных процессов, повышает производительность и эффективность очистки, снижает закупочные и складские расходы.

Для непосредственного осуществления процесса очистки применяют струйные аппараты. Основная функция струйных аппаратов заключается в их способности обеспечивать бесперебойную подачу гранул сухого льда и производить быструю, эффективную и экономичную очистку поверхности объекта.

Для работы струйного аппарата необходимо подключение сжатого воздуха, давлением 2–16 бар и расходом 4,5–12 м^3/мин. Конструкция струйного аппарата позволяет производить регулировку расхода сухого льда и давления.

Струйные аппараты сухого льда подразделяются на следующие типы:

а) по способу транспортировки сухого льда: двухшланговые, одношланговые;

б) применяемому типу сухого льда: под брикеты и блоки, под гранулы;

в) типу привода: пневматические, электропневматические;

Рассмотрим более подробно основные типы струйных аппаратов сухого льда.

По способу транспортировки сухого льда

Система с двумя шлангами

В двухшланговой системе сжатый воздух поступает в устройство подачи по одному шлангу, а сухой лед — по второму шлангу, соединяющему устройство подачи и бункер-накопитель (рис. 7). Струя сжатого воздуха через подающее устройство создает всасывающий поток во втором шланге: частицы сухого льда из бункер-накопителя поступают в поток сжатого воздуха в подающем устройстве.

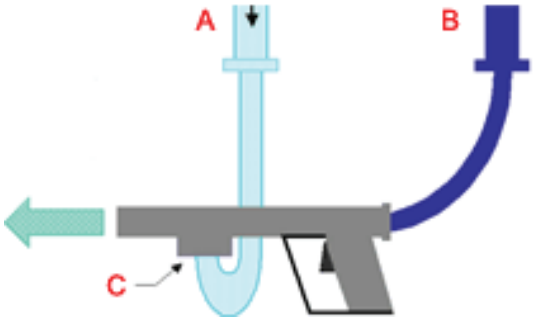


Рис. 7. Система с двумя шлангами:
A — сухой лед; *B* — сжатый воздух; *C* — устройство для подачи смеси льда и воздуха

Преимущество такой системы заключается в ее относительной простоте, низких затратах материалов и компактной системе загрузки.

Основные недостатки:

— такая технология применяется только при определенных условиях, и воздействующая сила струи на очищаемый объект меньше, чем в аппаратах с одношланговой системой;

— ограничение по длине шланга обусловливается необходимостью создания всасывающего потока из двух шлангов, что, в свою очередь, ограничивает дальность струйной обработки;

— ограниченное воздействие на поверхность не позволяет использовать систему с двумя шлангами для вертикальной обработки поверхности, потому что при всасывании частицам будет необходимо преодолевать силу тяжести.

— сопла двух шлангов имеют ограниченный диаметр, поскольку скорость потока и эффективность подачи снижены из-за того, что частицы подаются в сопло методом всасывания [7].

Система с одним шлангом

В одношланговой системе гранулы подаются в струю сжатого воздуха одним из нескольких типов шлюзовых механизмов. Качающийся и ротационный шлюз — два наиболее используемых типа шлюзовых механизмов. Струя воздуха, смешанная с гранулами сухого льда, подается непосредственно в шланг, затем в сопло. Таким образом гранулы разгоняются в шланге вместе с воздухом, при этом значительно возрастает кинетическая энергия частиц и, как следствие, интенсивность очистки (рис. 8).

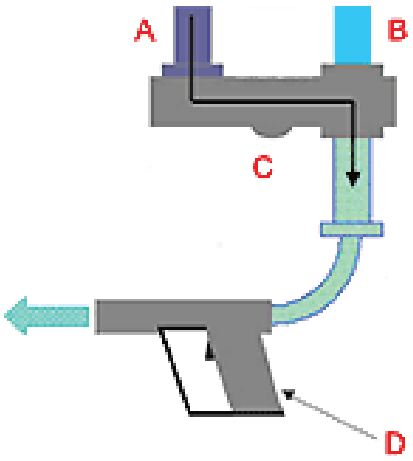


Рис. 8. Система с одним шлангом:
A — сухой лед; *B* — сжатый воздух; *C* — накопитель; *D* — подающее устройство

В одношланговой системе конечный размер частиц и плотность струи могут регулироваться типом шланга (толщина, внутреннее покрытие стенок) и используемым соплом-насадкой. Поэтому система может быть использована практически во всех случаях очистки.

Таким образом, общая энергия воздействия в одношланговой системе значительно выше, чем в двухшланговой, и в большинстве случаев система с одним шлангом обеспечивает лучшую производительность, качество очистки и эксплуатационную гибкость.

Основным преимуществом одношланговой системы является наибольшая сила воздействия струи, а также то, что можно использовать более длинный шланг, при этом оператор будет находиться на удаленном расстоянии от аппарата, а интенсивность очистки изменится незначительно. Система с одним шлангом идеально подходит для удалений тяжелых образований, лакокрасочных покрытий, а также для струйной обработки вертикальных поверхностей, когда аппарат должен находиться на более низком уровне, чем обрабатываемая поверхность.

Недостатком может быть относительно высокая стоимость и сложность устройства шлюзового механизма [7].

По применяемому типу сухого льда

В технологии СОСЛ применяются струйные аппараты, использующие блочный сухой лед, и аппараты, использующие гранулы. В струйных аппаратах, использующих блочный сухой лед, применяются вращающиеся лезвия для снятия тонкого слоя льда с блока. Затем тонкий слой разбивается под собственной тяжестью на мелкие части, которые падают в воронку для накопления. Для транспортировки частиц для такого типа аппаратов чаще всего используется двухшланговая система. К недостаткам подобной системы можно отнести фиксированность размера частиц, низкую плотность и скорость струи.

Струйные аппараты, использующие гранулы, имеют бункер-накопитель, который заполняется гранулами сухого льда. В бункере-накопителе используется механическая вибрация для подачи гранул в приемник.

По типу привода

Струйные аппараты разделяются по применяемым приводам на пневматические и электропневматические. Пневматические аппараты имеют механизмы подачи гранул, контролируемые пневматически, возможно использование воздушных моторов. Преимущество таких аппаратов заключается в возможности применять сжатый воздух на месте; недостаток в том, что их работа может быть восприимчива к составу и влажности сжатого воздуха. Воздушный мотор может быть затоплен, если подаваемый в систему воздух не был освобожден от воды. Кроме того, такие аппараты более склонны к ледоставам.

Электропневматические аппараты менее чувствительны к влажности и составу воздуха и почти не создают ледоставов, не засоряют окружающую среду, так как не создают масляных выбросов. Поэтому они могут быть использованы на автоматизированных линиях с применением в круглосуточном режиме. Они не создают вибрации при очистке, что обеспечивает равномерность струйного процесса, эффективность использования гранул. Однако существует необходимость обеспечивать аппарат электроэнергией и сжатым воздухом при работе, что можно отнести к неудобствам [7].

Примеры струйных аппаратов сухого льда (бластеров) и их технические характеристики представлены в табл. 4.

Таблица 4

Технические характеристики оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Рабочее давление, бар	Расход сухого льда, кг/ч	Вместимость бункера, кг	Энергопотребление, кВт	Вес, кг
1	Струйный аппарат IB 15/80 (фирма “Karcher”)	3–16	30–100	38	1,5	95
2	Струйный аппарат TRIBLAST-T2 (фирма “TRIBLAST”)	4–12	—	23	0,75	—



Рис. 9. Струйный аппарат IB 15/80



Рис. 10. Струйный аппарат TRIBLAST-T2

Главной энергетической установкой всей струйной системы является воздушный компрессор. При помощи воздушного компрессора в системе создается высокое (до 16 бар) давление и в струйный аппарат поступает необходимый для работы сжатый воздух. Сжатый воздух, используемый для струйной очистки, должен соответствовать следующим минимальным требованиям: не содержать примесей масла, пыли, твердых частиц, из него должна быть выделена вода. Температура подготовленного воздуха не должна превышать +35 °С. Помимо компрессора с встроенным или отдельно установленным охладителем, для осуществления качественной работы струйного аппарата требуется подключение в систему «компрессор–струйный аппарат» дополнительного оборудования для осушения и очистки воздуха — устройство подготовки воздуха.

Устройство подготовки воздуха — автоматизированное оборудование со встроенным сепаратором для отделения воды, с предварительным и маслоотделительным фильтром. Возможны две конфигурации устройства:

— с встроенным охладителем;

— без охладителя (в данном случае наличие охладителя на самом компрессоре обязательно).

Также в состав дополнительного оборудования входит регенератор CO_2.

Регенератор собирает весь выбрасываемый углекислый газ во время процесса производства сухого льда и преобразовывает его обратно в жидкое состояние. Таким образом газ снова используется для производства гранул сухого льда. Обычно при производстве сухого льда используется углекислый газ, половина которого преобразовывается в снег, а половина — улетучивается, а снег затем сжимается в гранулы сухого льда. Но с использованием регенератора невыработанный газ собирается, возвращается назад и снова используется. Это становится непрерывным процессом, в результате которого получается 50 %-ная экономия ресурсов, повышается производительность [6].

Небольшие размеры регенератора обеспечивают мобильность и возможность поместить его рядом с льдогенератором (пеллетайзером).



Рис. 11. Регенератор CO2



Рис. 12. Устройство подготовки воздуха

Современное состояние оборудования и технология, ограниченная одним видом носителя (сухой лед), требует существенных инновационных доработок. В частности, необходимо рассмотреть вопрос о возможности применения комбинированных носителей, например с добавлением мелкого песка, древесных опилок или металлических опилок (дроби), что потребует разработки струйного аппарата нового конструктивно-технологического типа, совмещающего возможность использования абразива и гранул сухого льда. Производительность и качество струйной очистки будут зависеть от энергетических возможностей струи, формируемой таким струйным аппаратом.

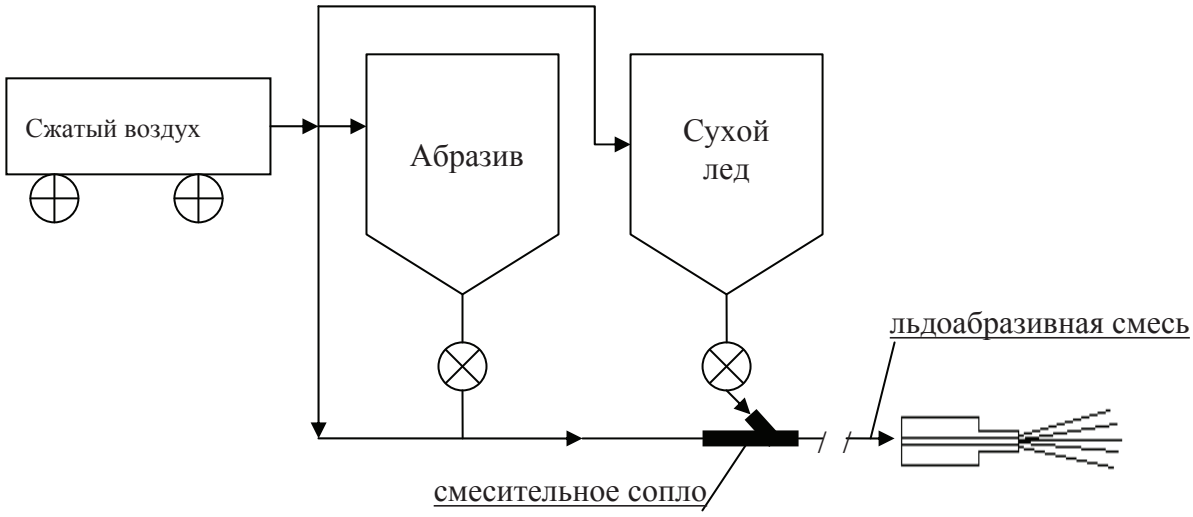


Рис. 13. Схема универсального струйного аппарата

Теоретическое определение оптимальных технических и геометрических параметров струйной системы аппарата нового типа весьма затруднено, поэтому выбор параметров, обеспечивающих стабильную работу струйного аппарата при максимальной производительности обработки, осуществляется экспериментальным путем.

Проведенные патентные исследования показали, что в мире до сих пор не применялась такая комбинированная схема очистки окалины и коррозии, что позволило сформулировать заявку на изобретение и получить патентный приоритет.

Для применения технологии СОСЛ в судостроительном и судоремонтном производстве необходима организация двух основных участков:

1) участок по производству гранул сухого льда;

2) участок (участки) с рабочими местами операторов.

Участок по производству гранул сухого льда представляет собой площадку, оборудованную емкостями для хранения, выдачи и транспортировки жидкой углекислоты, с оборудованием по производству гранул сухого льда. Состав оборудования для получения гранул сухого льда и тип льдогенераторов выбирается в зависимости от требований производства, расхода гранул сухого льда, который, в свою очередь, зависит от площади очищаемой поверхности и вещества, которое необходимо удалить в процессе очистки.

Доставка гранул сухого льда к месту производства работ может производиться в термоизолированных контейнерах вручную или с помощью средств механизации (краны, кран-балки, автотранспорт).

Участок (участки) с рабочими местами операторов по очистке судовых металлоконструкций оборудуются бластерами, средствами уборки отходов очистки (промышленный пылесос), оборудованием для поддержания и сохранения очищенной поверхности (аппарат сухого воздуха), воздушными компрессорами, приточно-вытяжными вентиляторами. Защиту от шума и рассеивания частиц очищаемого слоя выполняют с помощью защитных очков (маски) и наушников (беруши).

Состав комплекса для очистки судовых металлоконструкций по технологии СОСЛ должен включать следующее основное оборудование:

1) бластер в комплекте со шлангами и соплами-насадками, средствами индивидуальной защиты оператора;

2) льдогенератор с комплектом формовочных пластин;

3) регенератор для сбора выбросов углекислого газа;

4) термоизолированные контейнеры для хранения и транспортировки сухого льда;

5) компрессор с водомаслоотделителем и охладителем;

6) приточные и вытяжные вентиляторы (для работ в замкнутых помещениях, цистернах);

7) промышленный пылесос (для сбора продуктов очистки);

8) аппарат сухого воздуха (для поддержания и сохранения очищенной поверхности).

Выводы

1. Разработке новых технологий подготовки поверхности, обеспечивающих высокую производительность и экологичность производственного процесса очистки судовых металлоконструкций, не уделяется должного внимания, что отрицательно сказывается на конкурентоспособности продукции судостроения и судоремонта.

2. Применение новой технологии очистки СОСЛ позволит эффективно решать проблемы обеспечения качества выпускаемой продукции, поскольку современные процессы технологии и производств должны соответствовать требованиям Международных стандартов ISO серии 9000; 14000.

3. Для практического применения метода СОСЛ в судостроительном и судоремонтном производстве требуется проведение дополнительных исследований и разработка новых конструктивно-технологических решений в технологическом оборудовании и оснастке.

4. Внедрение технологии СОСЛ для подготовки поверхности в судостроительном и судоремонтном производстве может оказать существенное влияние на эффективность работы отрасли, поскольку позволит значительно сократить производственные, экономические и экологические затраты в производственном процессе предприятий, обеспечить конкурентоспособность судостроительной и судоремонтной продукции.

Список литературы

1. *Ларин Р. Н.* Актуальность создания и разработки новых технологий подготовки поверхности в условиях судостроительного и судоремонтного производств / Р. Н. Ларин // Водный транспорт России: строительство, эксплуатация, управление: материалы науч.-практ. конф., 1–2 октября 2009 г. — СПб.: СПГУВК, 2009.

2. *Альтшуль А. Д.* Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости): учеб. пособие для вузов / А. Д. Альтшуль, П. Г. Киселев. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1975.

3. *Талиев В. Н.* Аэродинамика вентиляции: учеб. пособие для вузов / В. Н. Талиев. — М.: Стройиздат, 1979.

4. *Идельчик И. Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик. — М.: Госэнергоиздат, 1960.

5. *Ларин Р. Н.* Метод струйной очистки судовых металлоконструкций с помощью сухого льда / Р. Н. Ларин // Судостроение. — 2010. — № 1.

6. Оборудование для производства сухого льда [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: http://www.acdco2.ru

7. Системы с одним и двумя шлангами [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: http://www.coldjet.com/ru/information/two-hose-vs-one-hose.php

ЖУРНАЛ университета водных коммуникаций

УДК 621.436:629.12

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

С. В. Шаршавин
аспирант,
СПГУВК

ТЕПЛОВАЯ ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ КЛАПАНОВ СУДОВОГО ЧЕТЫРЕХТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ

THERMAL DIAGNOSTICS OF THE VALVE MECHANISM OF THE SHIP ENGINE

В статье на примере клапанного механизма рассмотрена возможность систематизации поиска неисправностей судового дизеля путем обработки и анализа инфракрасных тепловых изображений элементов двигателя.

The article presents (using the example of the valve mechanism) the opportunity of the categorisation of the defect searching of the ship engine by working on and analysing infrared thermal pictures of some elements of the engine.

Ключевые слова: судовой дизель, клапанный механизм, тепловизионное диагностирование, систематизация неисправностей.

Key words: ship engine, valve mechanism, thermovision diagnostics, categorisation of defects.

ПОВЫШЕНИЕ экономичности и снижение токсичности выбросов с отработанными газами в определяющей степени связано с процессами газообмена в судовых дизелях.

Механизм газораспределения, определяющий эффективность процессов наполнения и очистки цилиндров, наряду с механическими нагрузками подвержен интенсивным тепловым и коррозионным воздействиям. В результате в процессе эксплуатации судовых дизелей возникают дефекты деталей механизма газораспределения.

К числу наиболее характерных относятся изнашивание посадочных фасок клапанов и седел в головках цилиндров, стрежней клапанов и направляющих в головках цилиндров, рабочих поверхностей кулачков и роликов толкателей, а также поломки клапанных пружин, зависание и обрыв клапанов, потеря устойчивости и деформация штанг толкателей [3].

Кроме того, периодически требуется проверка и регулировка тепловых зазоров в механизме газораспределения, которые влияют на значения фаз газораспределения и плотность посадки клапанов на седла.

Перечисленные выше негативные процессы особенно интенсивны в высокооборотных дизелях, поэтому в качестве объекта исследований был выбран дизель 4Ч 8,5/11 с вихрекамерным смесеобразованием, предназначенный для привода электрогенераторов постоянного или переменного тока, а также других судовых вспомогательных механизмов [5].

Целью представленных в статье исследований было определение возможностей технического диагностирования механизма газораспределения судовых дизелей по его тепловому состоянию.

Таблица 1

Краткие технические характеристики дизеля 4Ч 8,5/11

Параметр и его обозначение	Размерность	Значение
Диаметр цилиндра, $D_ц$	м	0,085
Ход поршня, $S_п$	м	0,11

Таблица 1
(*Окончание*)

Мощность, *Ne*	кВт	17,8
Номинальная частота вращения, *n*	мин$^{-1}$	1500
Среднее эффективное давление, P_e	МПа	0,575
Максимальное давление цикла, P_z	МПа	5,2–6,5 (5,85)
Зазор между поршнем и втулкой, δ	м	$\frac{0{,}0002 - 0{,}00029}{0{,}0005}$
Боковая сила, N_{max}	Н	$2{,}268 \cdot 10^3$
Толщина втулки, h_{vt}	м	0,006
Жесткость втулки, D_{czvt}	$\frac{кг \cdot м^2}{с^2}$	3506
Толщина блока, *h*	м	0,021
Жесткость блока, D_{czb}	$\frac{кг \cdot м^2}{с^2}$	70 110

В исследованиях были использованы тепловизор Testo 881 и пирометр TESTO 845.

В процессе испытаний одновременно снимались показания со всех штатных приборов и фиксировались изменения теплового состояния поверхностей деталей дизеля [1, с. 160–164].

Замеры проводились при работе дизеля по нагрузочной (холостой ход; 25 % нагрузки; 50 % нагрузки; 75 % нагрузки; 100 % нагрузки) и винтовой характеристиках (940, 1190, 1360 и 1500 мин$^{-1}$).

После замеров и компьютерной обработки полученных результатов тепловизионной съемки были выявлены зоны, тепловое состояние которых контрастирует на фоне идентичных деталей других цилиндров дизеля.

К их числу относится патрубок выхлопного коллектора 3-го цилиндра, температура которого на 40–50 % ниже по сравнению с остальными патрубками. Указанные отклонения обнаружены с помощью пирометра (рис. 1), тепловизора (рис. 2, точки М1, М2, М3) и отражены на графиках теплового состояния дизеля (рис. 3).

Таблица 2

Замеры теплового состояния деталей в зависимости от режимов работы дизеля

Нагрузочные характеристики							Винтовые характеристики			
Нагрузка, %							мин$^{-1}$			
№ п/п	Прибор	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %	940	1190	1360	1500
1	Время испытаний, ч/мин	14,00	14,15	14,30	14,45	15,00	15,15	15,30	15,45	16,00
2	Амперметр	0	40	55	82	107	52	59	76	110
3	Вольтметр	0	76	103	108	114	61	77	99	113
4	Температура воды	61	65	72	82	88	50	53	71	84

Таблица 2
(*Окончание*)

5	Температура масла	57	62	68	73	76	77	76	75	76
6	Температура выпускных газов	115	160	215	300	405	145	195	260	401
ПОКАЗАНИЯ ПИРОМЕТРА										
7	Клапанная крышка *1*	73	74,5	77,5	78	82	76,6	71,5	74	78
8	Клапанная крышка *2*	65	66,8	71,5	73	78	73	69,5	70	73
9	Головка блока *1*	110	112,5	115	122	123	101	101,5	110	116
10	Головка блока *2*	103	107	111	118	118	97	99	106	113
11	Блок цилиндров	102	88	92	96	96	90,5	86,5	88,5	94
12	Выпускной коллектор	110,4	115,1	149	180,1	269,8	121	134,9	183	259
13	Выпускной патрубок 1-го цилиндра	102,1	105	137,3	174,1	264	103,9	130	179	261
14	Выпускной патрубок 2-го цилиндра	110	112,6	127,2	161,6	249,2	113,6	123,1	157,6	244,2
15	Выпускной патрубок 3-го цилиндра	99	97,3	97,9	111,3	160,1	98,1	98,1	105,3	154,4
16	Выпускной патрубок 4-го цилиндра	107	114,3	141	166,9	250,4	117,3	132,2	160,9	246,7

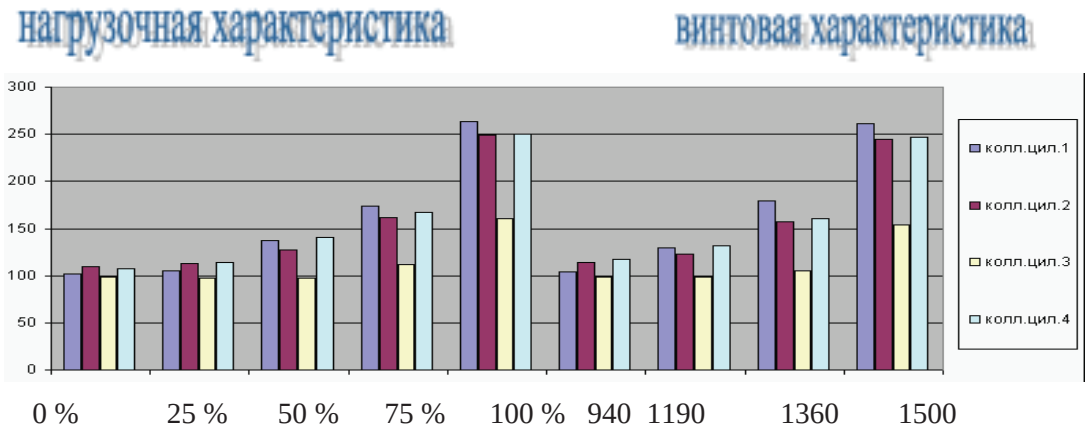
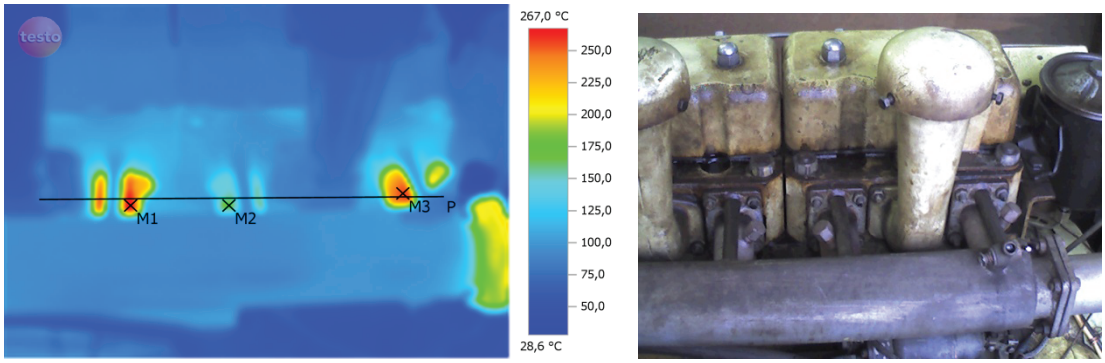


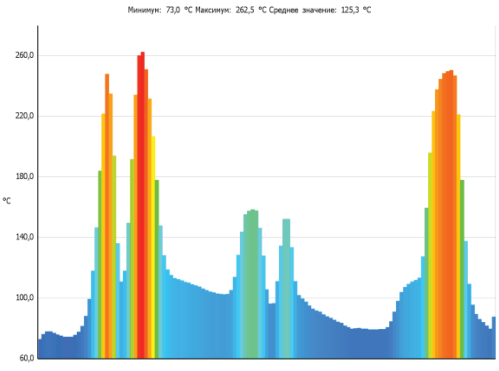
Рис. 1. Зависимость теплового состояния патрубков выхлопного коллектора от режима работы дизеля



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
клап.кр.1	73	74.5	77.5	78	82	76.6	71.5	74	78
клап.кр.2	65	66.8	71.5	73	78	73	69.5	70	73
гол.бл.1	110	112.	115	122	123	101	101.	110	116
гол.бл.2	103	107	111	118	118	97	99	106	113

Рис. 2. Зависимость теплового состояния головки блока и клапанных крышек от режима работы дизеля





№:	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж.те	Примечан
M1	267,0	0,93	20,0	выхл.колл
M2	165,4	0,93	20,0	выхл.колл
M3	254,1	0,93	20,0	выхл.колл

Рис. 3. Тепловизионное, фотографическое изображение, таблица температур выхлопных коллекторов

Согласно Правилам технической эксплуатации дизелей судов речного флота [2; 4] при теплотехническом контроле температура выпускных газов по цилиндрам не должна превышать ±20–30 °С.

Налицо нарушение качества рабочего процесса в 3-м цилиндре, что может быть следствием ряда причин:

1) некачественное смесеобразование из-за нарушений в работе топливного насоса высокого давления (ТНВД) или форсунки (давление подачи топлива с плунжерной пары; локальное нарушение контакта рабочей поверхности иглы с посадочным местом в корпусе распылителя; неправильная регулировка форсунки и пр.);

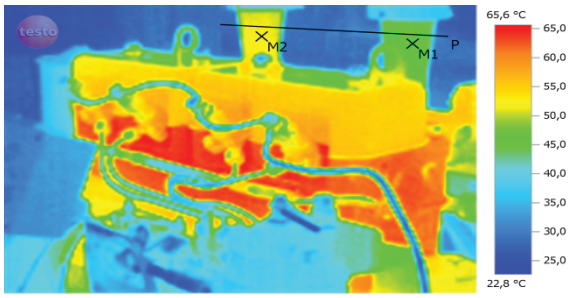
2) нарушение герметичности камеры сгорания, что может иметь место при чрезмерном износе деталей цилиндропоршневой группы, износе или залегании компрессионных колец и т. д.;

3) нарушение работы системы газораспределения (прорыв газов между седлом и рабочей поверхностью клапана, штоком и втулкой клапана, неправильная регулировка тепловых зазоров; дефект пружины клапана, износ кулачка распределительного вала и др.).

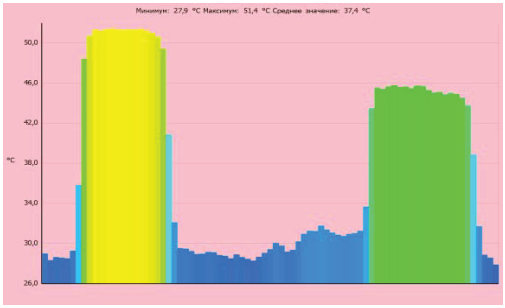
Были произведены стендовые испытания топливного насоса высокого давления (ТНВД), в которых были определены значения давления и расход топлива по секциям. Они показали, что все параметры находятся в рамках допуска для ТНВД данного типа дизеля. Определение давления подъема иглы форсунки 3-го цилиндра, также не выявило отклонений от паспортных данных.

Затем после перестановки форсунок 1-го и 3-го цилиндров были еще раз произведены замеры теплового состояния выпускных коллекторов, которые остались на прежнем уровне, что исключает влияние топливной аппаратуры на тепловое состояние выпускного коллектора 3-го цилиндра.

Другой причиной выявленных отклонений может быть неплотное прилегание клапана к седлу головки цилиндра, что вызывает поступление воздуха во впускной коллектор на такте наполнения.







№:	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж.те	Примечан
M1	45,6	0,93	20,0	вс.колл. 1,
M2	51,9	0,93	20,0	вс.колл. 3,

Рис. 4. Тепловизионное и фотографическое изображение,
график и таблица температурного состояния впускных коллекторов

Демонтаж впускных коллекторов показал отсутствие отложений сажи в коллекторах 1-го и 2-го цилиндров и значительные их отложения в коллекторах 3-го, 4-го цилиндров.

Осмотр головки блока 3-го и 4-го цилиндров показал одностороннюю выработку седла впускного клапана и раковины на посадочном пояске впускного клапана 3-го цилиндра.

Притирка клапана к седлу 3-го цилиндра привела к выравниванию теплового состояния выхлопных коллекторов.

Таким образом, информация о различиях в тепловом состоянии одинаковых деталей и узлов, установленных на разных цилиндрах многоцилиндрового двигателя, в частности выпускных

коллекторов и головок блока, дает основания для определения зон с эксплуатационными дефектами.

Предложенные приборы и методика их использования для целей диагностирования существенно сокращают время поиска неисправностей, поскольку не требуют специальной подготовки или вывода судового дизеля из эксплуатации, позволяют получать результаты измерений в реальном масштабе времени.

Список литературы

1. *Безюков О. К.* Диагностирование технического состояния судовых дизелей по инфракрасному излучению их наружных поверхностей / О. К. Безюков, А. А. Кардаков, С. В. Шаршавин // Журнал университета водных коммуникаций. — 2010. — Вып. 3 (7).

2. Инструкция по проведению теплотехнического контроля СДВС. — СПб.: Российский речной регистр, 2006. — 35 с.

3. *Кондратьев Н. Н.* Отказы и дефекты судовых дизелей / Н. Н. Кондратьев. — М.: Транспорт, 1985. — 152 с.

4. *Цветков В. С.* Эксплуатация судовых дизельных установок: справ. пособие / В. С. Цветков, В. И. Горелкин, Ю. П. Шанин. — Н. Новгород: Волжская гос. академия водного транспорта, 1995. — 525 с.

5. Дизели Ч 8,5/11. Руководство по эксплуатации (1Р2-6-1000 РЭ). Изд. № 20162 ВТИ. — М.: Внешторгиздат. — Зак. 329. — 230 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 51-74

С. С. Соколов,
канд. техн. наук,
СПГУВК

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ГРУЗА ПРИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ

MODELING OF CARGO PLACING IN MULTIMODAL TRANSPORTATION

В научной работе представлены математические модели, описывающие требования при размещении груза на различных видах транспорта.

In the presented scientific work mathematical models describing requirements for cargo placing on different kinds of transport are submitted.

Ключевые слова: мультимодальные перевозки, размещение груза, карго-планы, грузовые планы.
Key words: multimodal transportations, cargo placing, cargo plans.

ОПИСАННЫЙ далее материал является развитием исследования, представленного в [2, с. 75–77]. Представленные далее математические модели, решающие задачи размещения груза в трехмерном пространстве, основываются на двумерной модели, представленной А. П. Ныркovым в [1].

Далее будем рассматривать задачи двух типов: размещение грузов на различных видах транспорта (за исключением водного), размещение грузов на водном транспорте (контейнеры в трюмах). Это связано с тем, что, учитывая необходимость соблюдения остойчивости судна, необходимо проводить размещение груза от центра; в то же время на других видах транспорта применим традиционный метод северо-западного угла [3].

1. Размещение груза на различных видах транспорта

Для решения задачи размещения множества грузов в отсеке отдельно взятой транспортной единицы (за исключением водного транспорта) введем следующие обозначения и допущения. Будем считать, что ось *Ox* расположена горизонтально и положительное направление определено на ней слева направо. Ось *Oy* расположена вертикально, и положительное направление на ней — сверху вниз; ось *Oz* ортогональна осям *Ox* и *Oy* и положительное направление на ней — в сторону наблюдателя, то есть начало координат находится в левом верхнем дальнем от наблюдателя углу.

$G = \{a_i; b_i; c_i\}$ — множество объектов формы параллелепипеда (грузов) с линейными размерами a_i, b_i, c_i. Количество размещаемых грузов равно I.

A_i, B_i, H_i — длина, ширина, высота (соответственно) i-го транспортного отсека по оси *Ox*, *Oy*, и *Oz* соответственно.

$< x_i; y_i; z_i >$ — координаты центра i-го грузового объекта, имеющего форму параллелепипеда.

Введем переменную τ_i, которая принимает значение 1, если соответствующий груз имеет заданную ориентацию, то есть линейный размер a_i параллелен оси *Ox*, иначе τ_i равно 0. Переменная γ_i принимает значение 1, если соответствующий груз имеет заданную ориентацию, то есть линейный размер b_i параллелен оси *Oy*, иначе γ_i равно 0. Для оси *Oz* свойство параллельности обеспечивается из свойств ортогональности ребер прямоугольного параллелепипеда.

Для рационального размещения грузов G в грузовом отсеке S необходимо найти такие значения переменных $< x_i; y_i; z_i; \tau_i; \gamma_i >$, которые обеспечивают наиболее плотное заполнение по оси *Ox* и

Oy. Ближняя граница *B*, правая граница заполненного грузами участка *A* и нижняя граница *Y* считаются искомыми переменными, значения которых надо минимизировать (рис. 1):

$$F(A, B, Y) \rightarrow \min \tag{1}$$

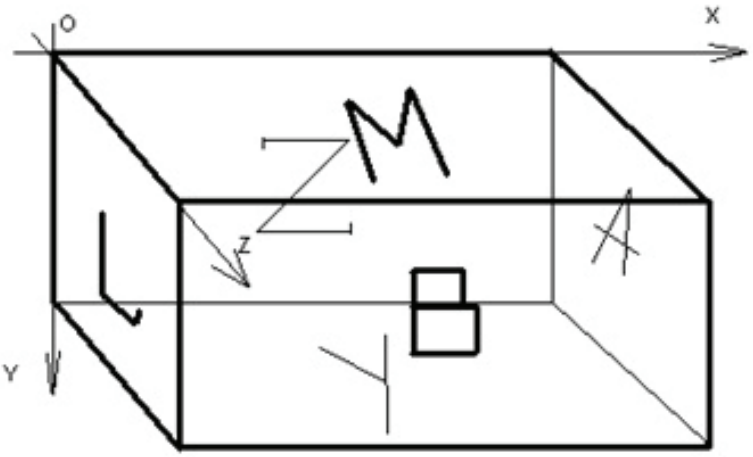


Рис. 1. Условное обозначение границ транспортного отсека

Для размещения грузов внутри трюма для каждого *i*-го груза его центр должен находиться не ближе половины его линейного размера от соответствующей границы рассматриваемой под погрузку области. Для левой границы должно выполняться $x_i - 0.5\, f_i \geq 0$. Здесь $f_i = \tau_i a_i + (1-\tau_i)b_i + (1-\tau_i)c_i$ — линейный размер *i*-го груза вдоль оси *Ox*. Для верхней границы должно выполняться $y_i - 0.5\, g_i \geq 0$. Здесь $g_i = \gamma_i b_i + (1-\gamma_i)a_i + (1-\gamma_i)c_i$ — линейный размер *i*-го груза вдоль оси *Oy*. Следовательно, должны выполняться ограничения:

— для правой границы *A*:

$$x_i + 0.5\gamma_i\tau_i a_i + 0.5(1-\tau_i)b_i + 0.5(1-\gamma_i)c_i \leq A. \tag{2}$$

После проведения подобных членов получим

$$x_i + 0.5(\gamma_i\tau_i a_i - \tau_i b_i - \gamma_i c_i) \leq A - 0.5(b_i + c_i); \tag{3}$$

— для ближней границы *B*:

$$z_i + 0.5\gamma_i\tau_i c_i + 0.5(1-\tau_i)a_i + 0.5(1-\gamma_i)b_i \leq B. \tag{4}$$

После проведения подобных членов получим

$$z_i + 0.5(\gamma_i\tau_i c_i - \tau_i a_i - \gamma_i b_i) \leq B - 0.5(b_i + c_i): \tag{5}$$

— для нижней границы *Y*

$$y_i + 0.5\gamma_i\tau_i b_i + 0.5(1-\tau_i)a_i + 0.5(1-\gamma_i)c_i \leq Y. \tag{6}$$

После проведения подобных членов получим

$$y_i + 0.5(\gamma_i\tau_i b_i - \tau_i a_i - \gamma_i c_i) \leq Y - 0.5(a_i + c_i). \tag{7}$$

2. Размещение груза на водном транспорте

Для решения задачи размещения множества грузов в трюмах судна *S*, начиная от центра, рассмотрим два подхода: в первом подходе будем использовать единую систему координат для всего трюма; во втором — четыре системы координат (для четырех областей, получающихся в результате разбиения). Эти подходы имеют принципиальное различие при разработке алгорит-

мического обеспечения процесса загрузки судна: в первом случае будет происходить обработка процессов, происходящих во всем трюме, во втором — в каждой отдельно взятой области [4; 5].

И в первом и во втором случаях проведем условное разделение трюма судна двумя перпендикулярными плоскостями, которые параллельны стенкам трюма (за исключением верхней и нижней стенок) и проходят через середину нижней стенки (рис. 2) [6].

Определение осей системы координат трюма аналогично определению осей системы координат грузового отсека.

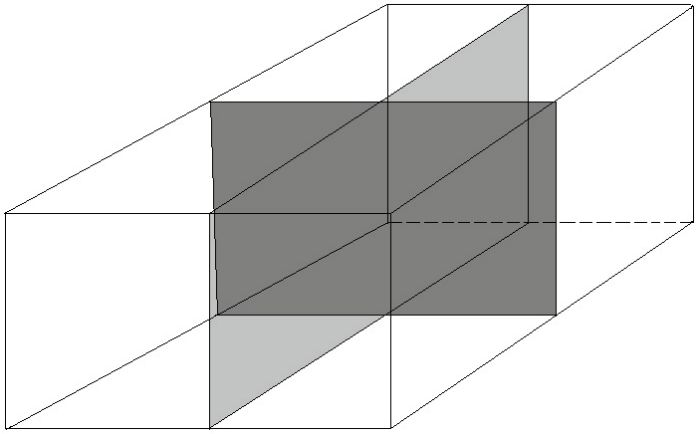


Рис. 2. Условное разделение трюмов судна для обеспечения размещения груза от центра

2.1. Оптимизация размещения груза с использованием единой системы координат для всего трюма

Будем считать, что ось *Ox* расположена горизонтально и положительное направление определено на ней слева направо. Ось *Oy* расположена вертикально и положительное направление на ней — сверху вниз; ось *Oz* ортогональна осям *Ox* и *Oy* и положительное направление на ней — в сторону наблюдателя, то есть начало координат находится в левом верхнем дальнем от наблюдателя углу (северо-западный дальний угол) (рис. 3). (Это допущение сделано для удобства непосредственного программирования алгоритма [7] решения задач оптимального размещения грузов, так как во всех компьютерных графических системах принята именно такая система координат.)

Учитывая очередность размещения груза в четырех образовавшихся областях, определим системы координат в каждой области (рис. 3) [9]. Далее будем определять ограничения на границы трюма путем переопределения координат трюма через координаты каждой области.

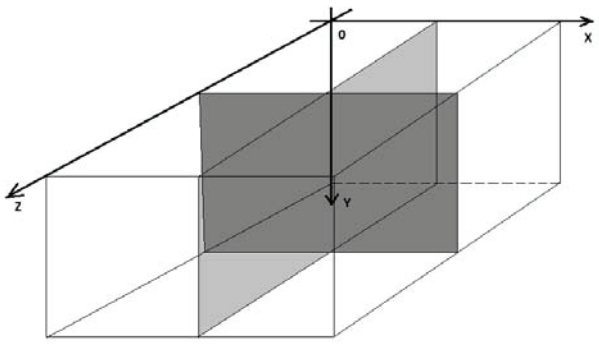


Рис. 3. Условное обозначение границ трюма

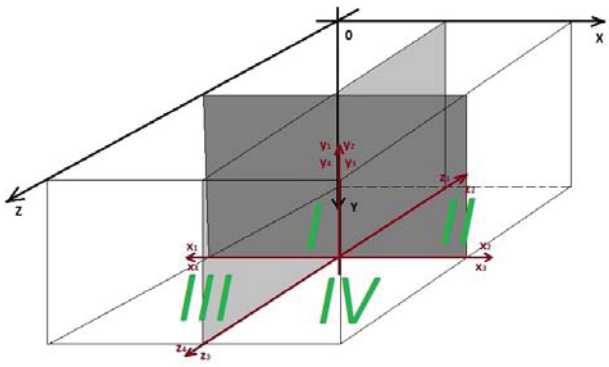


Рис. 4. Условное обозначение границ трюма и направляющих осей

$G' = \{a_i'; b_i'; c_i'\}$ — множество объектов формы параллелепипеда (грузов) с линейными размерами a_i', b_i', c_i'. Количество размещаемых грузов равно *I*.

A_i', B_i', H_i' — длина, ширина, высота (соответственно) *i*-го трюма по осям *Ox*, *Oz* и *Oy* соответственно (рис. 5).

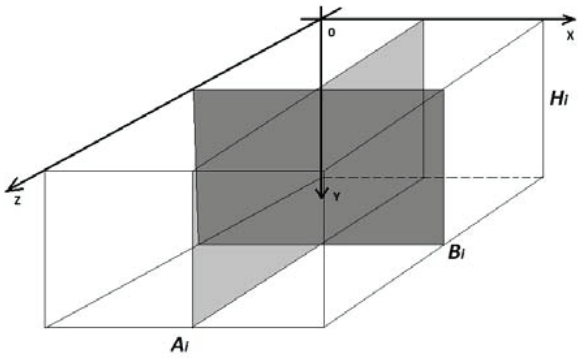


Рис. 5. Условное обозначение границ трюма и направляющих осей

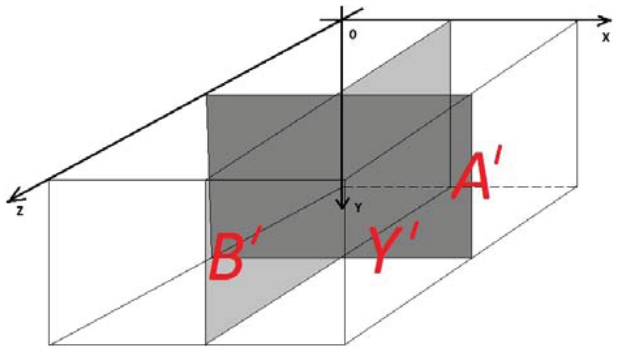


Рис. 6. Условное обозначение границ трюма, в отношении которых будет происходить оптимизация размещения груза

Для рационального размещения грузов *G'* в трюме *S'* необходимо найти такие значения переменных $< x_i; y_i; z_i; \tau_i'; \gamma_i' >$, которые обеспечивают наиболее плотное заполнение по осям *Ox* и *Oy*. Ближняя граница *B'*, правая граница заполненного грузами участка *A'* и нижняя граница *Y'* считаются искомыми переменными, значения которых надо минимизировать (рис. 6):

$$F(A', B', Y') \to \min. \tag{8}$$

Определим координаты системы координат *i*-го трюма $\{x_i, y_i, z_i\}$ через координаты *первой* области $\{x_{i_1}, y_{i_1}, z_{i_1}\}$ (нумерация согласно рис. 3):

$$\begin{cases} x_i = \dfrac{A_i'}{2} - x_{i_1}; \\ y_i = H_i' - y_{i_1}; \\ z_i = \dfrac{B_i'}{2} - z_{i_1}. \end{cases} \tag{9}$$

Используя неравенства (3), (5), (7), определим ограничения на границы трюма при размещении груза в первой области:

— для границы *A'*:

$$\frac{A_i'}{2} - x_{i_1} + 0.5(\gamma_i'\tau_i' a_i - \tau_i' b_i - \gamma_i' c_i) \le A' - 0.5(b_i + c_i); \tag{10}$$

— для границы *B'*:

$$\frac{H_i'}{2} - z_{i_1} + 0.5(\gamma_i'\tau_i' c_i - \tau_i' a_i - \gamma_i' b_i) \le B' - 0.5(b_i + c_i); \tag{11}$$

— для границы *Y'*:

$$\frac{B_i'}{2} - y_{i_1} + 0.5(\gamma_i'\tau_i' b_i - \tau_i' a_i - \gamma_i' c_i) \le Y' - 0.5(a_i + c_i). \tag{12}$$

Определим координаты системы координат *i*-го трюма $\{x_i, y_i, z_i\}$ через координаты *второй* области $\{x_{i_2}, y_{i_2}, z_{i_2}\}$ (нумерация согласно рис. 3):

$$\begin{cases} x_i = \dfrac{A_i^{'}}{2} + x_{i_2}; \\ y_i = H_i^{'} - y_{i_2}; \\ z_i = \dfrac{B_i^{'}}{2} - z_{i_2}. \end{cases} \quad (13)$$

Используя неравенства (3), (5), (7), определим ограничения на границы трюма при размещении груза во второй области:

— для границы *A'*:

$$\frac{A_i^{'}}{2} + x_{i_2} + 0.5(\gamma_i^{'}\tau_i^{'}a_i - \tau_i^{'}b_i - \gamma_i^{'}c_i) \le A' - 0.5(b_i + c_i); \quad (14)$$

— для границы *B'*:

$$H_i - y_{i_1} + 0.5(\gamma_i^{'}\tau_i^{'}c_i - \tau_i^{'}a_i - \gamma_i^{'}b_i) \le B - 0.5(b_i + c_i); \quad (15)$$

— для границы *Y'*:

$$\frac{B_i}{2} - z_{i_2} + 0.5(\gamma_i^{'}\tau_i^{'}b_i - \tau_i^{'}a_i - \gamma_i^{'}c_i) \le Y - 0.5(a_i + c_i). \quad (16)$$

Определим координаты системы координат *i*-го трюма $\{x_i, y_i, z_i\}$ через координаты *третьей* области $\{x_{i_3}, y_{i_3}, z_{i_3}\}$ (нумерация согласно рис. 3):

$$\begin{cases} x_i = \dfrac{A_i^{'}}{2} + x_{i_3}; \\ y_i = H_i^{'} - y_{i_3}; \\ z_i = \dfrac{B_i^{'}}{2} - z_{i_2}. \end{cases} \quad (17)$$

Используя неравенства (3), (5), (7), определим ограничения на границы трюма, при размещении груза в третьей области:

— для границы *A'*:

$$\frac{A_i^{'}}{2} + x_{i_3}; + 0.5(\gamma_i^{'}\tau_i^{'}a_i - \tau_i^{'}b_i - \gamma_i^{'}c_i) \le A - 0.5(b_i + c_i); \quad (18)$$

— для границы *B'*:

$$H_i^{'} - y_{i_3} + 0.5(\gamma_i^{'}\tau_i^{'}c_i - \tau_i^{'}a_i - \gamma_i^{'}b_i) \le B - 0.5(b_i + c_i); \quad (19)$$

— для границы *Y'*:

$$\frac{B_i^{'}}{2} - z_{i_2}. + 0.5(\gamma_i^{'}\tau_i^{'}b_i - \tau_i^{'}a_i - \gamma_i c_i) \le Y - 0.5(a_i + c_i). \quad (20)$$

Определим координаты системы координат *i*-го трюма $\{x_i, y_i, z_i\}$ через координаты *четвертой* области $\{x_{i_4}, y_{i_4}, z_{i_4}\}$ (нумерация согласно рис. 3):

$$\begin{cases} x_i = \dfrac{A_i^{'}}{2} - x_{i_4}; \\ y_i = H_i^{'} - y_{i_4}; \\ z_i = \dfrac{B_i^{'}}{2} - z_{i_4}. \end{cases} \quad (21)$$

Используя неравенства (3), (5), (7), определим ограничения на границы трюма при размещении груза в четвертой области:

— для границы *A'*:

$$\frac{A_i'}{2} - x_{i_4} + 0.5(\gamma_i'\tau_i'a_i - \tau_i'b_i - \gamma_i'c_i) \le A - 0.5(b_i + c_i); \tag{22}$$

— для границы *B'*:

$$H_i' - y_{i_4} + 0.5(\gamma_i'\tau_i'c_i - \tau_i'a_i - \gamma_i'b_i) \le B - 0.5(b_i + c_i); \tag{23}$$

— для границы *Y'*:

$$\frac{B_i'}{2} - z_{i_4} + 0.5(\gamma_i'\tau_i'b_i - \tau_i'a_i - \gamma_i'c_i) \le Y - 0.5(a_i + c_i). \tag{24}$$

2.2. Оптимизация размещения груза с использованием четырех систем координат

Рассмотрим математические модели размещения груза с использованием четырех систем координат, однозначно определяющих четыре области, полученные в результате разделения плоскостями (рис. 2, 3) [8].

Координатные оси представлены на рис. 3. Введем обозначения границ областей, которые будут являться искомыми переменными при оценке плотности загрузки:

— границы первой области: по оси *OX* граница *A;* по оси *OZ* граница *B*; по оси *OY* граница *C*;

— границы первой области: по оси *OX* граница *E*; по оси *OZ* граница *F*; по оси *OY* граница *G*;

— границы первой области: по оси *OX* граница *K*; по оси *OZ* граница *L*; по оси *OY* граница *M*;

— границы первой области: по оси *OX* граница *O*; по оси *OZ* граница *P*; по оси *OY* граница *Q* (рис. 7).

Ориентация координатных осей такая же, как и в предыдущих моделях. Определим переменные, определяющие границы областей и грузы:

$G^* = \{\{a_{1i}^*; b_{1i}^*; c_{1i}^*\}, \{a_{2i}^*; b_{2i}^*; c_{2i}^*\}, \{a_{3i}^*; b_{3i}^*; c_{3i}^*\}, \{a_{4i}^*; b_{4i}^*; c_{4i}^*\}\}$ — множество объектов формы параллелепипеда (грузов), размещенных в первой, второй, третей и четвертой областях с линейными размерами соответственно: $\{a_{1i}^*; b_{1i}^*; c_{1i}^*\}, \{a_{2i}^*; b_{2i}^*; c_{2i}^*\}, \{a_{3i}^*; b_{3i}^*; c_{3i}^*\}, \{a_{4i}^*; b_{4i}^*; c_{4i}^*\}$. Количество размещаемых грузов равно I^*.

$\langle x_{ji}, y_{ji}, z_{ji} \rangle$ — координаты центра *i*-го грузового объекта, имеющего форму параллелепипеда, в *j*-й области (j = 1, 2, 3, 4).

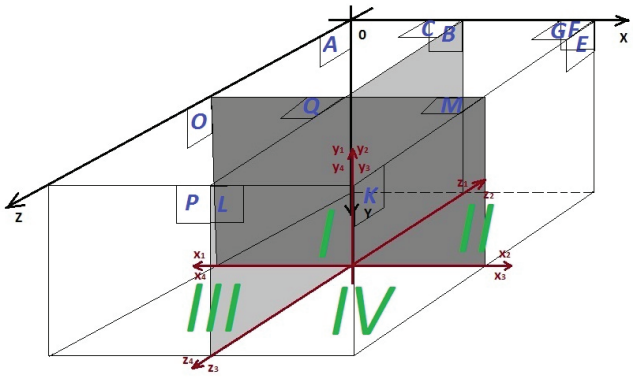


Рис. 7. Условное обозначение границ областей трюма, в отношении которых будет происходить оптимизация размещения груза

$\{\tau_{1i}; \tau_{2i}; \tau_{3i}; \tau_{4i}\}$ — переменные, характеризующие ориентацию относительно оси *OX i*-го грузового объекта в *1*, *2*, *3* или *4* области соответственно.

$\{\gamma_{1i}; \gamma_{2i}; \gamma_{3i}; \gamma_{4i}\}$ — переменные, характеризующие ориентацию относительно оси *OY i*-го грузового объекта в *1*, *2*, *3* или *4* области соответственно.

Определим ограничения на трюм и область для *первой* области:
— для границы *A*:

$$x_{1i} + 0.5(\gamma_{1i}\tau_{1i}a_{1i} - \tau_{1i}b_{1i} - \gamma_{1i}c_{1i}) \le A - 0.5(b_{1i} + c_{1i}); \quad (25)$$

— для границы *B*:

$$z_{1i} + 0.5(\gamma_{1i}\tau_{1i}c_{1i} - \tau_{1i}a_{1i} - \gamma_{1i}b_{1i}) \le B - 0.5(b_{1i} + c_{1i}); \quad (26)$$

— для границы *C*:

$$y_{1i} + 0.5(\gamma_{1i}\tau_{1i}b_{1i} - \tau_{1i}a_{1i} - \gamma_{1i}c_{1i}) \le Y - 0.5(a_{1i} + c_{1i}). \quad (27)$$

Определим ограничения на трюм и область для *второй* области:
— для границы *E*:

$$x_{2i} + 0.5(\gamma_{2i}\tau_{2i}a_{2i} - \tau_{2i}b_{2i} - \gamma_{2i}c_{2i}) \le E - 0.5(b_{2i} + c_{2i}); \quad (28)$$

— для границы *F*:

$$z_{2i} + 0.5(\gamma_{2i}\tau_{2i}c_{2i} - \tau_{2i}a_{2i} - \gamma_{2i}b_{2i}) \le F - 0.5(b_{2i} + c_{2i}); \quad (29)$$

— для границы *G*:

$$y_{2i} + 0.5(\gamma_{2i}\tau_{2i}b_{2i} - \tau_{2i}a_{2i} - \gamma_{2i}c_{2i}) \le G - 0.5(a_{2i} + c_{2i}). \quad (30)$$

Определим ограничения на трюм и область для *третьей* области:
— для границы *K*:

$$x_{3i} + 0.5(\gamma_{3i}\tau_{3i}a_{3i} - \tau_{3i}b_{3i} - \gamma_{3i}c_{3i}) \le K - 0.5(b_{3i} + c_{3i}); \quad (31)$$

— для границы *L:*

$$z_{3i} + 0.5(\gamma_{3i}\tau_{3i}c_{3i} - \tau_{3i}a_{3i} - \gamma_{3i}b_{3i}) \le L - 0.5(b_{3i} + c_{3i}); \quad (32)$$

— для границы *M*:

$$y_{3i} + 0.5(\gamma_{3i}\tau_{3i}b_{3i} - \tau_{3i}a_{3i} - \gamma_{3i}c_{3i}) \le M - 0.5(a_{3i} + c_{3i}). \quad (33)$$

Определим ограничения на трюм и область для *четвертой* области:
— для границы *O*:

$$x_{4i} + 0.5(\gamma_{4i}\tau_{4i}a_{4i} - \tau_{4i}b_{4i} - \gamma_{4i}c_{4i}) \le O - 0.5(b_{4i} + c_{4i}); \quad (34)$$

— для границы *P*:

$$z_{4i} + 0.5(\gamma_{4i}\tau_{4i}c_{4i} - \tau_{4i}a_{4i} - \gamma_{4i}b_{4i}) \le P - 0.5(b_{4i} + c_{4i}); \quad (35)$$

— для границы *Q*:

$$y_{4i} + 0.5(\gamma_{4i}\tau_{4i}b_{4i} - \tau_{4i}a_{4i} - \gamma_{4i}c_{4i}) \le Q - 0.5(a_{4i} + c_{4i}). \quad (36)$$

Список литературы

1. *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.

2. *Нырков А. П.* Методы повышения эффективности работы портов в рамках международных транспортных коридоров / А. П. Нырков, Т. В. Дмитриева, С. С. Соколов // Речной транспорт (XXI век). — 2009. — Т. 1, № 42-1.

3. Алгоритмы автоматизированного управления технологическими процессами мультимодальных перевозок / А. П. Нырков // Журнал университета водных коммуникаций. — 2010. — № 4. — С. 43–53.

4. *Ныркова А. П.* Безопасность информационных потоков в АСУДС / А. П. Ныркова, П. В. Викулин // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. — 2010. — № 4. — С. 78–82.

5. *Ныркова А. П.* Алгоритм управления движением судов, идущих пересекающимися курсами / А. П. Ныркова, П. В. Викулин // Журнал университета водных коммуникаций. — 2011. — № 1. — С. 100–105.

6. *Ныркова А. П.* Математическая модель резервирующей системы и оптимизация ее работы / А. П. Ныркова, Т. В. Дмитриева // Журнал университета водных коммуникаций. — 2011. — № 2. — С. 98–101.

7. *Каторин Ю. Ф.* Защищенность информации в каналах передачи данных в береговых сетях автоматизированной идентификационной системы / Ю. Ф. Каторин, В. В. Коротков, А. П. Ныркова // Журнал университета водных коммуникаций. — 2012. — № 1. — С. 98–102.

8. *Соколов С. С.* Четырехмерная модель комплектовки груза на судне / С. С. Соколов // Журнал университета водных коммуникаций. — 2011. — № 3. — С. 75–78.

9. *Соколов С. С.* Математическая модель радиационного размещения груза в трюмах судна / С. С. Соколов // Журнал университета водных коммуникаций. — 2010. — № 3. — С. 89–92.

УДК 004

Н. Г. Левченко,
Морской государственный университет
имени адмирала Г.И. Невельского

ОПТИМИЗАЦИЯ СЛАБО ФОРМАЛИЗОВАННЫХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ НЕЙРОННОЙ МОДЕЛИ

OPTIMIZATION OF WEAKLY FORMALIZED PROCESSES USING FUZZY NEURAL MODEL

Предложен метод моделирования слабо формализованного процесса с учетом не только количественных оценок, но и качественных, нечетко заданных, не поддающихся формализации критериев и связей между ними. Модель разрабатывается для последующего исследования этого процесса, прогнозирования его поведения, оптимизации функционирования. Метод базируется на технологии нечетких нейронных сетей. Показан метод оптимизации процесса с использованием факторного анализа.

The proposed modeling method of weakly formalized process regards not only qualitative data, but attribute (descriptive) as well as fuzzy defined non-formalized criterion & their connections. The model is developed for further process of exploration, its behavioral forecasting and operational optimization. The method is based on fuzzy neuron nets technology. The operational optimization method with using of factor analysis is shown.

Ключевые слова: интеллектуальные системы управления, информационная система, моделирование, нейросетевые технологии, нечеткая логика.

Key words: intellectual controlling systems, data system, modeling, neural network technologies, fuzzy logic.

ОПТИМИЗАЦИЯ информационной системы управления предприятием — одно из наиболее актуальных условий повышения эффективности его работы. Именно от оперативности, экономичности и надежности управления зависит эффективность финансово-производственной деятельности предприятий морской отрасли.

7–8 апреля 2009 г. при поддержке Государственной Думы РФ и Министерства транспорта РФ прошел первый российский Международный конгресс по интеллектуальным транспортным системам, на котором заместитель министра транспорта России напомнил, что Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 г. включает создание единой информационной среды транспортного комплекса и аналитических информационных систем поддержки процессов управления его развитием.

Единая информационная среда подразделяется на уровни: управленческий (информационная среда Минтранса РФ и находящиеся в его ведении федеральные службы и агентства); технологический (информационная среда различных видов транспорта и участников транспортного процесса, в том числе среда интеллектуальных транспортных систем); пользовательский (информационная среда транспортных услуг и информационного обслуживания клиентов). Как считают российские эксперты, создание и внедрение отечественных ИТС позволят повысить эффективность управления перевозками, сократить непроизводительные затраты на транспортировку грузов, ускорят развитие национальной транспортной, территориальной и информационной инфраструктур, а также обеспечат благоприятный климат для внедрения сервисов на основе глобальных навигационных спутниковых систем [1, с. 70–75].

Основная задача интеллектуального анализа данных состоит в выявлении скрытых правил и закономерностей в массивах данных. Автоматизированный анализ — закономерный этап в развитии информационных технологий.

В настоящее время на многих транспортных предприятиях создана мощная информационная среда, в которую входят и системы сбора данных, и сети передачи, и вычислительная инфраструктура, программное обеспечение, базы данных, информационные хранилища и др.

Однако эти системы не используются в полной мере, так как на руководящих работников обрушивается огромный объем слабо структурированной информации, который человеческий разум не способен своевременно проанализировать, а значит, возникают трудности при принятии оптимальных решений [2, с. 18–21].

В современных условиях руководящим работникам, принимающим решения, необходим мощный интеллектуальный инструмент, который перерабатывал бы данные из информационных систем и выдавал бы адресный анализ — варианты возможных управленческих решений и полномочий для разных должностных лиц:

— анализ ситуации и поведения взаимодействующих элементов системы в реальном масштабе времени;

— обеспечение в динамическом режиме мониторинга и диагностики управленческих решений;

— моделирование реальных событий и процессов;

— прогнозирование и предупреждение критических ситуаций.

Нередко встречаются плохо формализованные задачи, которые не могут быть решены с помощью классических детерминированных методов. Речь идет о задачах анализа, планирования и выработки экономических решений в условиях неопределенности, а также неполноты и нечеткости исходной информации (сведения, которые размыты, смутны, неопределенны, неясны или неточны по своей природе).

Наиболее подходящим и эффективным методом решения таких задач является метод моделирования с применением нечетких нейронных технологий. Основное достоинство этого метода заключается в способности алгоритма подстраивать структуру сети под новые наблюдения (факторы) и выявлять сложные (нелинейные) взаимосвязи между значениями входных и выходных данных [3]. Это гибридные интеллектуальные системы (ГИС), позволяющие использовать преимущества традиционных средств и методов искусственного интеллекта и в то же время преодолевающие некоторые их недостатки, способные решать задачи, нерешаемые отдельными методами искусственного интеллекта [4].

ГИС позволяют более эффективно соединять формализуемые и неформализуемые знания. Они сочетают в себе достоинства нейронных сетей и систем нечеткого вывода. Они позволяют

разрабатывать и представлять наглядные и содержательные модели систем в форме правил нечетких продукций, используя при этом методы нейронных сетей, что является более удобным и менее трудоемким процессом для системных аналитиков [5].

Актуальность разработки модели системы управления таким бизнес-процессом, как процесс обучения, обусловлена как научными целями расширения теоретических представлений о процессах передачи и усвоения знаний, так и практическими целями создания более эффективных методов управления, внедрение которых должно способствовать обеспечению необходимого качества подготовки морских специалистов. Тем более это важно в современных условиях возрастающей интенсивности морских грузоперевозок, усложнения судовых технических средств, а также во исполнение требований национальных образовательных стандартов и норм Международной морской организации (ИМО), международных обязательств по подготовке и дипломированию моряков по несению вахты (МК ПДМНВ-78/95) и руководящих документов по безопасности мореплавания (МППСС-72, КТМ РФ, МКУБ).

Высшее морское учебное заведение в качестве объекта моделирования характеризуется как сложная система с высоким уровнем неопределенности исходной информации и внешней среды. Системный подход к процессу управления качеством образовательных услуг предполагает рассмотрение его как комплекса связанных между собой факторов, воздействующих на систему образовательных услуг, начиная с входа в нее абитуриентов и заканчивая выходом из нее молодых морских специалистов, способных решать практические задачи, например такие, как грамотная организация ходового мостика и обеспечение безопасности мореплавания. Повышение качества обучения студентов сопряжено с совершенствованием материально-технической базы образовательных структур, повышением качества стандартов и образовательных программ, внедрением прогрессивных образовательных технологий, совершенствованием информационного обеспечения.

Так как бóльшая часть факторов относится к категории субъективной, результаты экспериментов не могут быть полностью обработаны инструментами классической математики. В данном случае необходимо воспользоваться средствами обработки нечеткой информации. Чтобы, не разрушая свойства размытости и неточности, формализовать полученные знания, необходимо применить формальный аппарат нечеткой алгебры и нечеткой логики.

При учете различных мнений в ходе экспериментов вводится коэффициент качества оценки, отражающий субъективную степень уверенности эксперта.

Следуя теории нечеткой идентификации для построения модели, прежде всего необходимо:

— определить оценивающие и влияющие на учебный процесс факторы, а также их взаимосвязь. Обычно неизвестно все количество влияющих факторов и не все они явные. Поэтому выделен некоторый набор критериев, который в процессе совершенствования модели может дополняться, не влияя на саму систему (метод решения), зато качественно улучшая «портрет» объекта исследования (изучения);

— определить нечеткие «Если — то» правила взаимодействия всех выявленных факторов;

— составить из экспериментальных данных выборки для обучения нейронной сети;

— создать модель учебного процесса, используя вычислительную среду MatLAB — пакет Fuzzy Logic Toolbox — метод идентификации нечеткими базами знаний;

— составить тестовые выборки из реальных данных и сравнить результаты, используя известные математические методы, например SRME — метод наименьших квадратов.

Итак, на входе системы находится множество ***оценивающих параметров*** абитуриента (x_i), которые можно разбить на две группы:

учебная успеваемость (x_{ij} — оценки *i*-го курсанта по предмету *j*, которые задаются в лингвистической форме: «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно», далее оценки по каждому предмету от курса к курсу);

психологический портрет (so_i — стремление к обучению, ko_i — умение жить и работать в коллективе — коммуникабельность, uo_i — уравновешенность (устойчивость к стрессам) и пр. Они

также задаются в лингвистической форме: «отличное», «хорошее» или «удовлетворительное»).

Весь комплект характеристик будущего курсанта неизвестен и не может быть известен по объективным причинам. Однако некоторые данные могут быть получены из результатов тестов, которые проходят абитуриенты перед поступлением на плавательные специальности.

Далее в процессе обучения эти параметры изменяются под действием влияющих факторов. Они также подразделяются на несколько групп: образовательная, финансовая, обеспечивающая образовательный процесс, социальная и пр.

Образовательная группа:

kv_j — квалификация преподавателя по *j*-й дисциплине, заданная лингвистически («высокая», «средняя», «низкая»).

Преподаватель может быть: ассистентом, старшим преподавателем, доцентом, профессором.

str_p_j — стремление к повышению квалификации и отдача в процессе обучения преподавателя по *j*-й дисциплине, заданное лингвистически («высокое», «среднее», «низкое»). Оно зависит от возраста преподавателя (age_j).

age_j — возраст преподавателя по *j*-й дисциплине, который делится на три периода и задается нечеткой переменной.

Также стремление преподавателя участвовать в образовательном процессе зависит от заработной платы (zp_j), которая входит в финансовую группу.

str_k_{ij} — стремление x_i-го курсанта к получению знаний по *j*-й дисциплине, заданное лингвистически («высокое», «среднее», «низкое»). Оно зависит от престижности профессии ($prest_i$ из социальной группы), по мнению курсанта, так как он заинтересован получить такое образование, которое позволит ему трудоустроиться на высокооплачиваемую должность. Мнение курсанта может меняться от курса к курсу.

Финансовая группа:

zp_j — заработная плата преподавателя по *j*-й дисциплине, заданная лингвистически («высокая», «средняя», «низкая»). Зависит от квалификации и возможности администрации вуза достойно оплачивать труд.

fes_k_i — стипендия x_i-го курсанта, заданная лингвистически («высокая», «средняя», «низкая»).

fes_lib_j — фонд средств на закупку новой учебной литературы по *j*-й дисциплине.

fes_equip_j — фонд средств на закупку нового учебного оборудования по *j*-й дисциплине.

Группа, обеспечивающая образовательный процесс:

lib_j — обеспечение литературой, заданное лингвистически («высокое», «среднее», «низкое»). Зависит от фонда средств на закупку новой учебной литературы.

$equip_j$ – обеспечение оборудованием, заданное лингвистически («высокое = H», «среднее = M», «низкое = L»). Зависит от фонда средств на закупку нового учебного оборудования.

Социальная группа:

$comfort\_p_j$ — комфортность преподавателя по *j*-му предмету на рабочем месте (на кафедре, на лекции, лабораторных работах, взаимоотношения с коллективом). Зависит от возраста и квалификации преподавателя и пр.

$comfort\_k_i$ — комфортность x_i-го курсанта в учебном процессе, в общежитии, взаимоотношения с коллективом курсантов, преподавателей, командующим составом.

com_k_i — участие x_i-го курсанта в общественной жизни вуза (наряды, художественная самодеятельность, спорт, научные конференции).

Построение модели производилось на реальных данных, подготовленных по информации о выпускниках вуза, предоставленной деканатом судоводительского факультета (СВФ) Морской академии Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского. В качестве обучающих выборок была выбрана информация по оценкам всех дисциплин с I по V курсы курсантов **12-й роты судоводительского факультета (год поступления — 2002).** Данные по преподава-

тельскому составу были взяты реальные — тех лет (согласно БД «Учебные планы»). Верификация и адекватность данной модели проверялась на второй части этой же роты.

С помощью графических средств системы MatLAB был выполнен контроль и настройка параметров функций принадлежности входных переменных. Для выполнения соответствующих операций использовался редактор функций принадлежности (рис. 1).

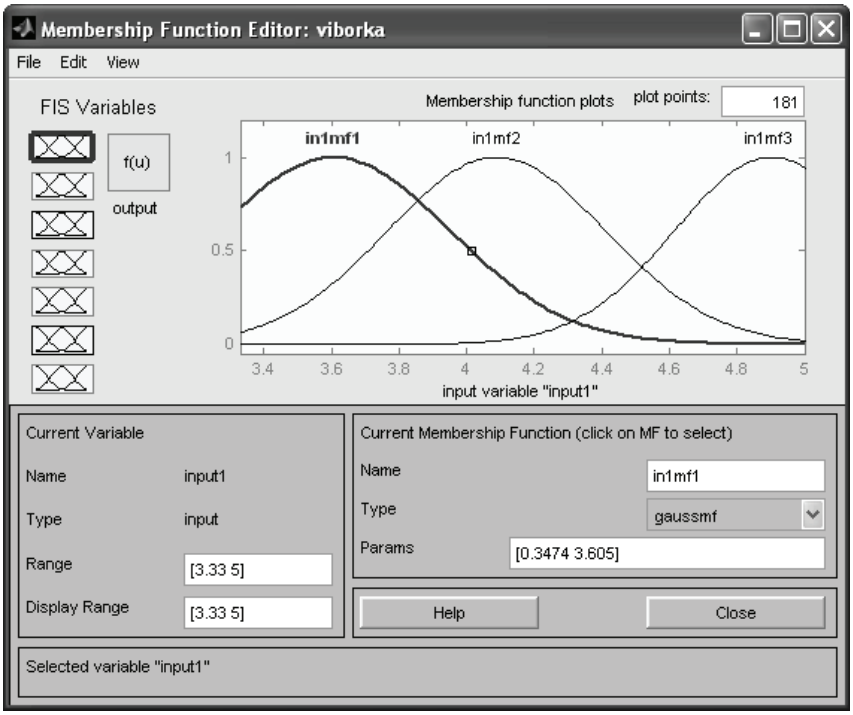


Рис. 1. График настройки параметров ФП

После окончания обучения гибридной сети был выполнен анализ графика ошибки обучения (рис. 2).

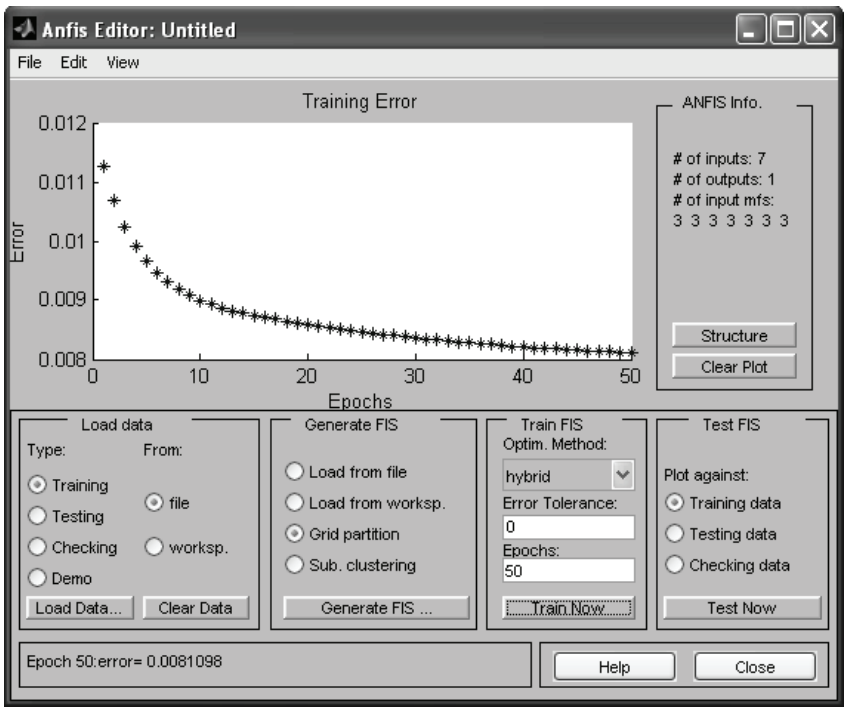


Рис. 2. График ошибки обучения нейронной сети

Проверка адекватности построенной нечеткой модели была произведена посредством тестирующей выборки.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1				базовые знания (средний начальный балл)	научная жизнь курсанта (от 0 до 10)	общественная жизнь курсанта (от 0 до 10)	квалификация преподавателя (ассистент-от2до3, ст.преподаватель-от4до6, доцент-от7до8, профессор-от9до10)	возраст преподавателя (до 25 - от1до3, от 26 до 35 - от3до6; от 36 до 55 - от6до10, старше 56 - от3до7)	обеспечение литературой	обеспечение оборудованием	Оценка по предмету за семестр	(проверка адекватности полученной системы нечеткого вывода)	Проверка работы системы (средний балл, научная жизнь, квалификация преподавателя, общественная жизнь, возраст преподавателя, обеспечение литературой и оборудованием) / полученные данные	
2			Курсант ФИО	дайте оценку критериев по десятибальной шкале							Оценка п		средний начальный балл (практический)	Оценка по предмету за семестр (практическая
3			*Курсант*											
4	1 курс	1 семестр	*история-1*	3.5	7	7	8	9	8	7	4		3.5	3.84
5			*математика-1*	3.5	6	7	7	7	7	8	4		3.5	3.99
6			*химия-1*	3.5	7	7	6	6	6	6	3		3.5	3.45
7			*нач.геометрия-1*	3.5	4	7	5	5	7	5	3		3.5	2.84
8			*география-1*	3.5	6	7	5	5	6	6	3		3.5	2.83
9	1 курс	2 семестр	*культурология-2*	3.4	7	8	7	5	8	5	4		3.39	4.33
10			*нач.геометрия-2*	3.4	6	8	6	6	7	6	3		3.39	3.4
11			*физ.восп. и спорт-2*	3.4	6	8	6	5	6	8	3		3.39	2.77
12			*математика-2*	3.4	5	8	8	3	7	8	3		3.39	3.28
13			*информатика-2*	3.4	7	8	9	8	9	9	3		3.39	3.36
14			*физика-2*	3.4	6	8	7	7	8	9	4		3.39	3.99
15			*материаловедение-2*	3.4	8	8	5	4	6	7	3		3.39	2.74
16			*управление судном-2*	3.4	7	8	5	6	5	9	3		3.39	2.82
17	2 курс	3 семестр	*философия-3*	3.25	8	7	6	5	6	7	4		3.34	4.25
18			*англ. язык-3*	3.25	6	7	5	6	5	8	3		3.34	2.92
19			*математика-3*	3.25	5	7	9	7	6	8	4		3.34	4.19
20			*физика-3*	3.25	5	7	8	7	7	6	4		3.34	3.64
21			*теоретическая механика-3*	3.25	6	7	7	5	4	5	3		3.34	3.28
22	2 курс	4 семестр	*физ.восп. и спорт-4*	3.6	6	8	7	5	6	9	3		3.66	3.18
23			*математика-4*	3.6	3	8	10	8	7	6	3		3.66	2.91
24			*физика-4*	3.6	3	8	8	9	7	5	3		3.66	2.99
25			*ТММ, ДМ и ОК-4*	3.6	7	8	4	8	9	4	4		3.66	3.68
26			*ТУС-4*	3.6	8	8	10	5	8	9	5		3.66	4.92
27			*Электротехника-4*	3.6	5	8	5	8	7	9	4		3.66	3.55
28	3 курс	5 семестр	*физ.восп. и спорт-5*	3.66	8	5	7	6	8	10	4		3.54	4.27
29			*мореходная астрономия-5*	3.66	8	5	8	8	7	6	4		3.54	3.58
30			*навигация (Н и Л)-5*	3.66	6	5	7	7	7	7	3		3.54	3.13
31			*ТУС-5*	3.66	5	5	7	8	9	7	4		3.54	3.93
32			*экономика-5*	3.66	6	5	5	10	8	7	3		3.54	3.42
33			*МОС-5*	3.66	7	5	8	9	4	8	3		3.54	2.91
47	4 курс	8 семестр	*Н и Л-8*	4	7	5	9	6	8	6	4		3.84	4.34
48			*ТСС-8*	4	8	5	6	7	8	9	4		3.84	4.14
49			*морской английский язык-8*	4	6	5	7	3	6	9	3		3.84	3.25
50			*морская радиосвязь-8*	4	7	5	3	5	7	9	3		3.84	3.46
51			*тех. и орг. мор. перевозки грузов-8*	4	8	5	5	7	8	10	3		3.84	3.27
52	5 курс	9 семестр	*ТСС-9*	3.4	5	6	7	7	8	9	3		3.69	3.11
53			*автоматизация судовождения-9*	3.4	6	6	9	7	9	7	3		3.69	2.6
54			*РНП-9*	3.4	8	6	7	4	8	4	4		3.69	4.24
55			***Средний балл по итогам всего обучения курсанта (по данным из журнала успеваемости)***								**3,59**		***полученный на практике***	**3,59**
56														

Рис. 3. Фрагмент таблицы с исходными данными и результатами проверки

Левая часть таблицы на рис. 3 содержит набор заранее известных исходных данных по профессорско-преподавательскому составу (квалификация и возраст), лабораторному и учебно-методическому обеспечению и реальные оценки курсанта, взятые из журнала успеваемости (всего 7 факторов). В правой части таблицы содержатся результаты проверки ГИС.

Сравнивая оценки, полученные системой, с соответствующими оценками тестируемого курсанта от курса к курсу, можно констатировать практически точное совпадение этих значений, а при округлении до целой части — абсолютное совпадение (в реальности преподаватель выставляет округленные оценки успеваемости).

Полученная среднеквадратическая ошибка среднего арифметического, равная **0.04,** показывает, что созданная модель точно описывает реальные процессы, происходящие в системе (рис. 4).

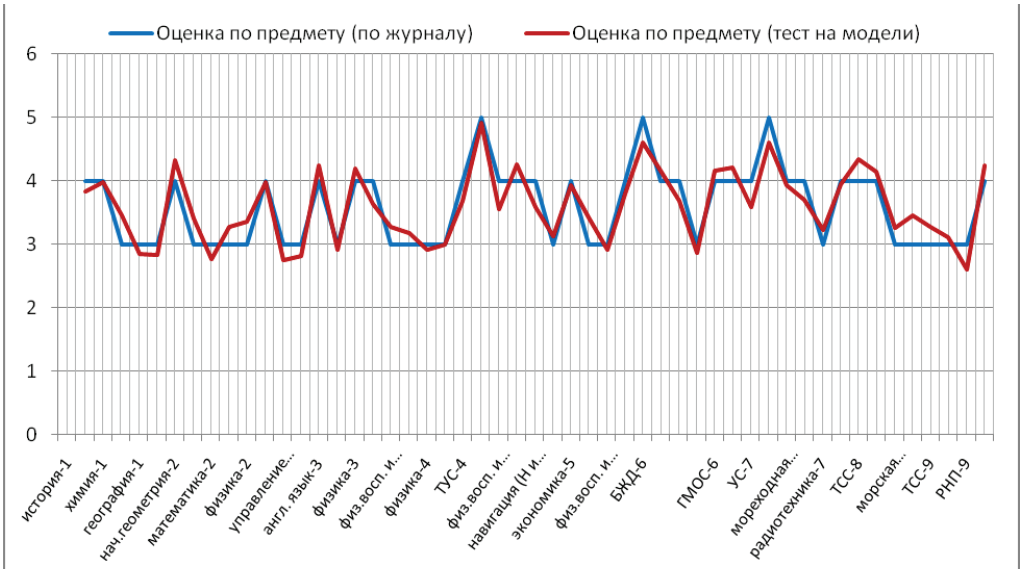


Рис. 4. График результатов проверки модели

Наличие модели позволяет проводить факторный анализ, добиваясь максимальной результативности процесса (рис. 5).

Практическая часть (оптимизация полученной системы нечеткого вывода)	Оптимизация нейронной сети (Повышение значения итогового среднего балла путем увеличения значения показателя Квалификация преподавателя (8-10) на первом курсе) и уменьшения значения показателя Квалификация преподавателя (1-6) на пятом курсе)		Оптимизация нейронной сети (Повышение значения итогового среднего балла путем увеличения значения показателя Квалификация преподавателя (8-10) на пятом курсе) и уменьшения значения показателя Квалификация преподавателя (1-6) на первом курсе)		(Повышение значения итогового среднего балла путем увеличения значения показателя Обеспечение литературой и оборудованием (8-10) на первом курсе) и уменьшения значения показателя Обеспечение литературой и оборудованием (1-6) на пятом курсе)		(Повышение значения итогового среднего балла путем увеличения значения показателя Обеспечение литературой и оборудованием (8-10) на пятом курсе) и уменьшения значения показателя Обеспечение литературой и оборудованием (1-6) на первом курсе)		Повышение значения итогового среднего балла путем увеличения значений показателей: Квалификация преподавателя (8-10) и Обеспечение литературой и оборудованием (8-10) на первом курсе и уменьшения этих показателей на пятом курсе (1-6)		Повышение значения итогового среднего балла путем увеличения значений показателей: Квалификация преподавателя (8-10) и Обеспечение литературой и оборудованием (8-10) на пятом курсе и уменьшения этих показателей на первом курсе (1-6)	
	средний начальный балл (практический)	Оценка по предмету за семестр (практическая)	средний начальный балл (практический)	Оценка по предмету за семестр (практическая)	средний начальный балл (практический)	Оценка по предмету за семестр (практическая)	средний начальный балл (практический)	Оценка по предмету за семестр (практическая)	средний начальный балл (практический)	Оценка по предмету за семестр (практическая)	средний начальный балл (практический)	Оценка по предмету за семестр (практическая)
	3.5	3.84	3.5	3.49	3.5	4.34	3.5	3.35	3.5	3.92	3.5	3.04
	3.5	4.07	3.5	3.92	3.5	4.2	3.5	3.46	3.5	4.57	3.5	2.35
	3.5	4.1	3.5	3.45	3.5	3.57	3.5	3.45	3.5	3.65	3.5	3.51
	3.5	3.46	3.5	2.84	3.5	2.96	3.5	2.71	3.5	3.24	3.5	2.77
	3.5	3.6	3.5	2.93	3.5	2.71	3.5	2.83	3.5	3.5	3.5	2.63
	3.81	4.81	3.31	3.93	3.56	4.37	3.16	4.3	3.77	4.02	2.86	2.95
	3.81	4.1	3.31	3.41	3.56	3.69	3.16	3.35	3.77	3.35	2.86	2.65
	3.81	3.65	3.31	2.73	3.56	3.2	3.16	3.09	3.77	3.74	2.86	2.52
	3.81	3.47	3.31	3.23	3.56	2.56	3.16	3.2	3.77	3.17	2.86	2.43
	3.81	5.08	3.31	3.29	3.56	3.11	3.16	2.66	3.77	4.86	2.86	2.98
	3.81	4.07	3.31	3.66	3.56	3.53	3.16	3.4	3.77	3.92	2.86	2.62
	3.81	4.12	3.31	2.78	3.56	3.02	3.16	2.85	3.77	3.86	2.86	3.66
	3.81	4.15	3.31	2.86	3.56	3.33	3.16	3.2	3.77	3.64	2.86	3.2
	4.18	4.33	3.24	4.19	3.35	4.3	3.26	4.22	3.82	4.26	2.88	4.09
	4.18	3.35	3.24	2.94	3.35	2.93	3.26	3	3.82	2.98	2.88	2.67
	4.18	4.12	3.24	4.12	3.35	4.22	3.26	2.9	3.82	4.82	2.88	2.73
	4.18	3.99	3.24	3.63	3.35	3.93	3.26	2.89	3.82	4.86	2.88	2.51
	4.18	3.5	3.24	3.27	3.35	3.3	3.26	3.3	3.82	3.55	2.88	3.17
	3.86	3.42	3.63	3.06	3.74	3.4	3.26	3.41	4.09	3.44	3.03	3.24
	3.86	3.23	3.63	2.91	3.74	3.22	3.26	3.31	4.09	3.51	3.03	2.87
	3.86	3.39	3.63	2.91	3.74	3.39	3.26	2.59	4.09	3.53	3.03	3.35
	3.86	3.41	3.63	3.67	3.74	3.51	3.26	3.39	4.09	3.58	3.03	3.53
	3.86	4.75	3.63	4.91	3.74	4.94	3.26	4.66	4.09	4.54	3.03	3.96
	3.86	3.59	3.63	3.51	3.74	3.57	3.26	3.15	4.09	3.52	3.03	3.22
	3.63	3.81	3.49	3.97	3.67	3.83	3.42	3.74	3.7	4	3.36	3.86
	3.63	3.91	3.49	3.98	3.67	3.91	3.42	3.89	3.7	3.61	3.36	3.48
	3.63	3.26	3.49	3.43	3.67	2.87	3.42	3	3.7	2.99	3.36	2.91
	3.63	4.18	3.49	3.23	3.67	3.98	3.42	3.46	3.7	4.14	3.36	3.09
	3.63	3.95	3.49	3.18	3.67	3.96	3.42	3.44	3.7	3.16	3.36	4.06
	3.63	3.14	3.49	3.29	3.67	3.14	3.42	3.13	3.7	3.43	3.36	3.41
	3.71	4.19	3.51	3.7	3.62	4.16	3.44	3.55	3.9	4.13	3.47	3.93
	3.71	4.62	3.51	4.51	3.62	4.59	3.44	4.44	3.9	4.94	3.47	3.72
	3.71	4.23	3.51	4.19	3.62	4.2	3.44	4.15	3.9	4.22	3.47	4.01
	3.71	3.91	3.51	3.65	3.62	3.89	3.44	3.64	3.9	4.35	3.47	4.27
	3.71	2.77	3.51	2.84	3.62	2.75	3.44	2.73	3.9	3.16	3.47	3.09
	3.71	4.11	3.51	4.1	3.62	4.09	3.44	4.05	3.9	4.3	3.47	3.92
	3.71	4.29	3.51	4.11	3.62	4.06	3.44	4.01	3.9	4.38	3.47	4.26
	4.003	3.64	3.87	3.57	3.96	3.55	3.79	3.07	4.21	3.96	3.9	3.01

Рис. 5. Фрагмент таблицы результатов факторного анализа

Был проведен факторный анализ I:

1. В рамках имеющихся значений факторов поменяли местами значения факторов высококвалифицированных преподавателей с V курса и низкой квалификации I курса. В итоге оценки курсантов изменились в лучшую сторону (ср. значение 3.59 увеличилось до 3.90).

2. Провели обратный процесс только с преподавателями. В результате оценки курсантов ухудшились (ср. значение до 3.53).

Результаты анализа показаны на графике (рис. 6).



Рис. 6. График результатов факторного анализа по квалификации преподавателей

Факторный анализ II:

1. В рамках имеющихся значений факторов поменяли значения факторов лабораторного оборудования и литературы, лучше обеспечивающих учебный процесс, с V курса с устаревшим оборудованием I курса. В итоге оценки курсантов изменились в лучшую сторону (ср. значение 3.59 увеличилось до 3.69).

2. Провели обратную замену оборудования и литературы. Результаты ухудшились (ср. значение 3.43).

Результаты анализа показаны на графике (рис. 7).



Рис. 7. График результатов факторного анализа по обеспечению оборудованием и литературой

Факторный анализ III:

1. В рамках имеющихся значений факторов поменяли местами значения факторов высококвалифицированных преподавателей, лучше обеспечивающего учебный процесс лабораторного оборудования и литературы с V курса и преподавателей низкой квалификации с устаревшим оборудованием I курса. В итоге оценки курсантов изменились в лучшую сторону (ср. значение 3.59 увеличилось до 3.95).

2. Провели обратную замену преподавателей и обеспечения. Результаты ухудшились (ср. значение 3.37).

Результаты анализа показаны на графике (рис. 8).

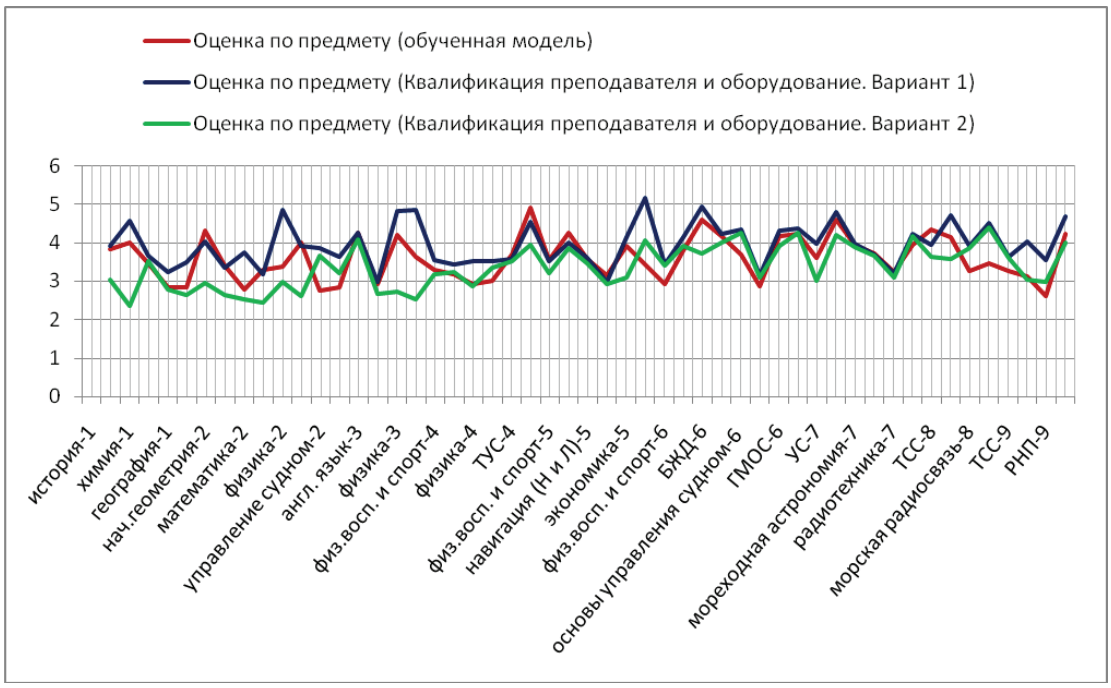


Рис. 8. График результатов анализа по двум факторам одновременно

Факторный анализ на данной нечеткой нейронной модели показал, что если обеспечить I курс высококвалифицированными преподавателями, лучшим тренажерным и прочим оборудованием и хорошей учебно-методической литературой, то, несмотря на плохое обеспечение теми же показателями V курса, успеваемость курсантов увеличивается примерно на полбалла. И наоборот, как бы ни улучшались условия обучения V курса, если плохо усвоены базовые предметы I курса, успеваемость курсантов будет низкой.

Выводы:

Таким образом, в статье приведен один из методов моделирования слабо формализованного процесса с использованием нечетких нейронных технологий. Показан пример построения модели, в которой в качестве слабо формализованного процесса был выбран учебный процесс в морском вузе. Приведенные примеры факторного анализа показывают возможность использования построенной модели для изучения и анализа скрытых сложных закономерностей реального учебного процесса, позволяют апробировать на модели эффективность определенных управляющих воздействий на него, найти способы его оптимизации. Ведь все более высокие стандарты качества подготовки морских специалистов, которые планомерно вводит международное морское сообщество, заставляют постоянно совершенствовать систему морского образования.

Список литературы

1. Власова Г. Транспортным процессам требуется интеллект / Г. Власова // Морские порты: информационно-аналитический журнал. — 2009. — № 4/5 (76).

2. Бугулов Э. Р. О построении автоматизированных аналитических систем на транспорте / Э. Р. Бугулов, В. П. Козлова, О. В. Осокин // Транспорт. Наука, техника, управление: науч. информ. сб. — 2007. — № 6.

3. Круглов В. В. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода / В. В. Круглов, М. И. Дли. — М.: Изд-во Физ.-мат. лит., 2002. — 256 с.

4. Андрейчиков А. В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. — М.: Финансы и статистика, 2000. — 368 с.

5. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MatLAB / С. Д. Штовба. — М.: Горячая линия–Телеком, 2007. — 288 с.

УДК 681.3.067

А. Е. Журавлев,
СПГУВК,
аспирант

ДИАЛОГ С ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ ОПЕРАТИВНОГО УЧЕТА СУДОПРОПУСКА В ШЛЮЗОВАННОЙ СИСТЕМЕ НА УСЛОЖНЕННЫХ ЗАПРОСАХ ПОДМНОЖЕСТВА ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

DIALOGUE WITH GATEWAY LOCKING OPERATIONAL REGISTRATION INFORMATION SYSTEM BY COMPLICATED QUERIES OF NATURAL LANGUAGE SUBSET

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, усложненные конструкциями различного вида. На основе семантического анализатора рассматриваются примеры таких запросов и их трансляция с естественного языка на SQL-подобный язык запросов информационной системы.

This article is devoted to the questions of organization of terminal operator dialog with the information system of operative account of the process of moving ships in the locked through system on 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, запрос, базы данных, шлюз, судопропуск.
Key words: semantics, semantic analysis, query, database, gateway, locking.

КАК отмечалось ранее, шлюзованная система на внутренних водных путях, являющаяся частью единой транспортной системы, поддерживается корпоративной компьютерной системой. Для управления такими системами применяются различные технологии и специализированные средства доступа. Средствами реализации, хранения, обработки и анализа данных в распределенных средах чаще всего являются различные ERP и OLAP системы, которые

позволяют визуальными графическими средствами запрашивать данные из хранилища, агрегировать их и визуализировать результаты и т. д. В работе [1, с. 133–140] рассмотрены вопросы разработки средств и механизмов, предоставляющих возможность исполнять запросы аналитика или оператора, сформулированные на естественном языке (ЕЯ), отмечен факт наличия сложностей, связанных с формализацией сложных запросов на ЕЯ, содержащих различные уточняющие конструкции.

Для того чтобы классифицировать запрос как усложненный, необходимо провести соответствующий анализ текста на ЕЯ, введенного оператором. Одним из условий функционирования диалоговой системы является ограничение на морфологический размер запроса. Запрос на ЕЯ должен состоять из одного предложения. Тогда «сложным» назовем запрос, состоящий из сложного [2] или осложненного дополнительными конструкциями предложения на ЕЯ. Возможны четыре варианта сложных предложений, обрабатываемых семантическим анализатором АИС:

— сложносочиненное предложение;

— сложноподчиненное предложение;

— сложное предложение с разными видами связи;

— бессоюзное сложное предложение.

Также в категорию сложных видов запросов попадают предложения на ЕЯ, в которых присутствуют «осложняющие элементы», выражающие добавочную информацию. Осложняющие элементы подразделяются на два подтипа:

— однородные и обособленные члены предложения;

— слова и словосочетания, не являющиеся членами предложения и не входящие в его структуру (вводные и вставные конструкции).

Для определения осложненного предложения как особого синтаксического явления анализатор устанавливает, какой синтаксический аспект «осложнения» имеется в виду. Существует осложнение семантическое, то есть семантическая полипропозитивность, предложение является семантически осложненным, если содержит более одной пропозиции. Пропозиция может быть заключена в предикативной конструкции и неприсловном распространителе или выражена предикатным словом и распространяющей это слово словоформой. Таким образом, запрос может быть семантически осложненным, но формально-синтаксического осложнения не иметь. Также возможен вариант наличия в запросе двух пропозиций, тогда такой запрос будет семантически осложненным, полипропозитивным, а кроме того, иметь формально-синтаксическое осложнение, которое проявляется в синтаксическом отношении дополнительной предикативности: например, деепричастный оборот может находиться в двустороннем отношении — относиться не только к сказуемому, но и к подлежащему, и это отношение оформляется каким-либо выделением [3].

Если запрос не содержит семантического осложнения, но содержит пропозицию, заключенную в предикативном ядре, то также считается сложным. В формально-синтаксическом отношении такое предложение следует считать осложненным: здесь есть особые синтаксические отношения — координативные, выраженные каким-либо союзом (например, сочинительным союзом «и»). Таким образом, осложнение простого предложения — явление синтаксическое, грамматическое, и как таковое оно имеет свои отличительные признаки, по которым анализатор определяет класс запроса.

Практически любой естественный язык (русский и английский языки в том числе) в достаточной мере гибок, для того чтобы порождать неоднозначность и неформализуемые или слабо формализуемые конструкции. В случае обнаружения такого рода вхождения анализатор затребует участия оператора терминала для разрешения неоднозначности, предложив ему оценить сложность запроса на ЕЯ и в случае необходимости в ручном режиме подобрать наиболее подходящий шаблон из представленных или сформировать новый. Таким образом, входной запрос будет оценен в одном из режимов работы анализатора, и в случае если он будет оценен как сложный, то и будет приведен к удовлетворяющей шаблонизатор форме.

Многие шаблонные формы сложных запросов на ЕЯ возможно фрагментировать средствами самого анализатора, что позволяет один сложный запрос конвертировать в два или более простых,

объединенных конструкциями языка запросов 1CQ. Для объединения фрагментов изначального запроса используются конструкции «ОБЪЕДИНИТЬ» (“UNION”). Для единовременного обращения анализатора к различным источникам данных используются различные варианты «ИЗ … СОЕДИНЕНИЕ … ПО» (“FROM … JOIN …”), такие как внутреннее соединение «ИЗ … СОЕДИНЕНИЕ … ПО» (“FROM … JOIN …”), правое внешнее соединение «ИЗ … ПРАВОЕ [ВНЕШНЕЕ] СОЕДИНЕНИЕ … ПО» (“FROM … RIGHT OUTER JOIN …”), левое внешнее соединение «ИЗ … ЛЕВОЕ [ВНЕШНЕЕ] СОЕДИНЕНИЕ … ПО» (“FROM … LEFT OUTER JOIN …”). В случае если структурная фрагментация сложного запроса невозможна, алгоритм пытается провести иерархическую дефрагментацию, формально реализуемую средствами вложенных запросов вида «ВЫБРАТЬ … ИЗ … ГДЕ … (ВЫБРАТЬ … ИЗ … ГДЕ …»)).

Например, запрос вида

«ПОКАЗАТЬ СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ ЗАДЕРЖКИ СУДОВ ПРИ НАИБОЛЬШЕЙ ПЛОТНОСТИ СУДОПОТОКА ЗА ПРОШЕДШИЙ МЕСЯЦ»

в соответствии с приведенной классификацией однозначно определяется анализатором как сложный. Более того, механизм обнаруживает соответствующую усложняющую конструкцию «при наибольшей плотности судопотока». Здесь плотность судопотока является стандартным уточняющим шаблоном. Фактически, плотность судопотока — это количество судов в единицу времени. Базовой временно́й единицей отсчета АИС являются одни сутки, что позволяет говорить о суточной плотности судопотока. Для вычисления запроса наибольшей плотности судопотока

«… ПРИ НАИБОЛЬШЕЙ ПЛОТНОСТИ СУДОПОТОКА …»

используется шаблон, содержащий запрос вида

«ВЫБРАТЬ

КОЛИЧЕСТВО (Судно) КАК Судно

ИЗ

РегистрСведений.ПассажирскоеРасписаниеВыполненое КАК ПассажирскоеРасписаниеВыполненое»

Представленный выше фрагмент кода является шаблоном для вычисления плотности судопотока. Это необходимый, но недостаточный запрос. Его следует дополнить конструкцией «ГДЕ …», уточняющей временны́е рамки.

«ВЫБРАТЬ

КОЛИЧЕСТВО (Судно) КАК Судно

ИЗ

РегистрСведений.ПассажирскоеРасписаниеВыполненое КАК

ПассажирскоеРасписаниеВыполненое

ГДЕ

ПассажирскоеРасписаниеВыполненое.Период = МЕЖДУ (&ДатаПлотностиНачало И &ДатаПлотностиКонец)»,

где «&ДатаПлотностиНачало» и «&ДатаПлотностиКонец» — начало и конец расчетного периода, соответственно установленные, например, в значения 10.06.2012 00:00:00 и 10.06.2012 23:59:59.

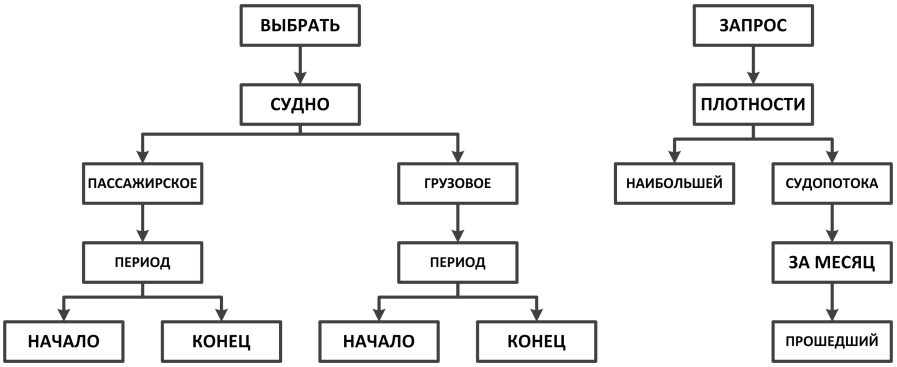


Рис. 1. Структурное и синтаксическое деревья шаблона

Также необходимо отметить, что источником данных для этого шаблона является лишь расписание пассажирских судов. Аналогичный подзапрос для грузового расписания опирается на другой источник данных (другую таблицу регистра сведений):

```
«ВЫБРАТЬ
    КОЛИЧЕСТВО (Объект) КАК Судно
ИЗ
    РегистрНакопления.РасписаниеПотокаВыполненое КАК РасписаниеПотокаВыполненое
ГДЕ
    РасписаниеПотокаВыполненое.Период = МЕЖДУ (&ДатаПлотностиНачало И &ДатаПлотностиКонец)»
```

Структурное и синтаксическое деревья для этих шаблонов представлены на рис. 1. Для нахождения общей плотности судопотока необходимо объединить оба фрагмента в один подзапрос конструкцией «ОБЪЕДИНИТЬ», а для нахождения максимальной плотности следует использовать агрегатную функцию «МАКСИМУМ(…)». Полное синтаксическое дерево подзапроса представлено на рис. 2.

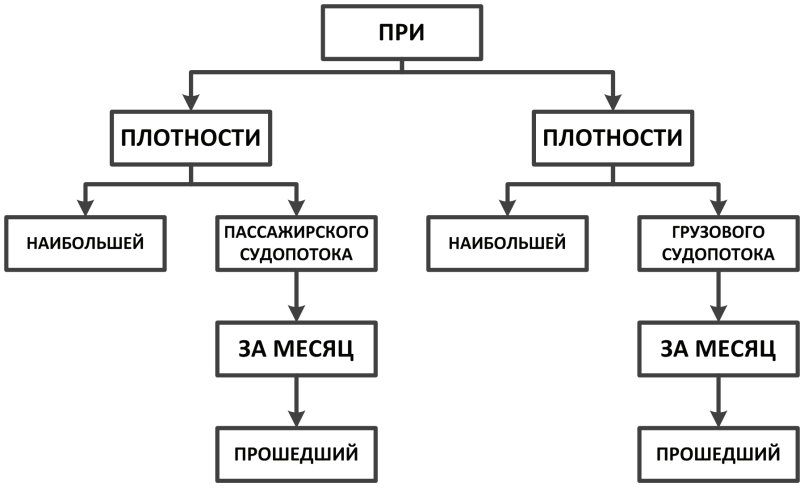


Рис. 2. Полное синтаксическое дерево подзапроса

Результирующий подзапрос для реализации фрагмента запроса на ЕЯ будет выглядеть следующим образом:

```
«ВЫБРАТЬ
    КОЛИЧЕСТВО (Судно) КАК Судно
ИЗ
    РегистрСведений.ПассажирскоеРасписаниеВыполненое КАК
    ПассажирскоеРасписаниеВыполненое
    ГДЕ
    ПассажирскоеРасписаниеВыполненое.Период = МЕЖДУ (&ДатаПлотностиНачало И
&ДатаПлотностиКонец)
ОБЪЕДИНИТЬ
ВЫБРАТЬ
     КОЛИЧЕСТВО (Объект) КАК Судно
ИЗ
     РегистрНакопления.РасписаниеПотокаВыполненое КАК РасписаниеПотокаВыполненое
ГДЕ
     РасписаниеПотокаВыполненое.Период = МЕЖДУ (&ДатаПлотностиНачало И
&ДатаПлотностиКонец)»
```

Данная конструкция искусственно усложнена и могла бы быть заменена на более простой вариант с аналогичным результатом:

«ВЫБРАТЬ
СУММА (КОЛИЧЕСТВО (Судно.ПассажирскоеРасписаниеВыполненое) И
КОЛИЧЕСТВО (Объект.РасписаниеПотокаВыполненое)) КАК Судно
ИЗ
РегистрСведений.ПассажирскоеРасписаниеВыполненое КАК
ПассажирскоеРасписаниеВыполненое
РегистрНакопления.РасписаниеПотокаВыполненое КАК РасписаниеПотокаВыполненое
ГДЕ
ПассажирскоеРасписаниеВыполненое.Период = МЕЖДУ (&ДатаПлотностиНачало И
&ДатаПлотностиКонец
И РасписаниеПотокаВыполненое.Период = МЕЖДУ (&ДатаПлотностиНачало И
&ДатаПлотностиКонец)»

Однако в данном примере рассмотрен лишь один из случаев, а подобная оптимизация возможна лишь при индивидуальном подходе к интерпретации каждого запроса на ЕЯ. Использование шаблонов на готовые входные конструкции позволяет добиться универсальности использования механизма семантического анализатора без применения дополнительных диалоговых функций, уточняющих семантику запроса на ЕЯ.

Анализируя фрагмент запроса «Показать среднее время задержки судов» в соответствии с алгоритмом функционирования анализатора, рассмотренного в работе [1], получаем синтаксическое дерево. Как отмечалось ранее, для выбранной предметной области корневой вершиной дерева часто 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. 3).

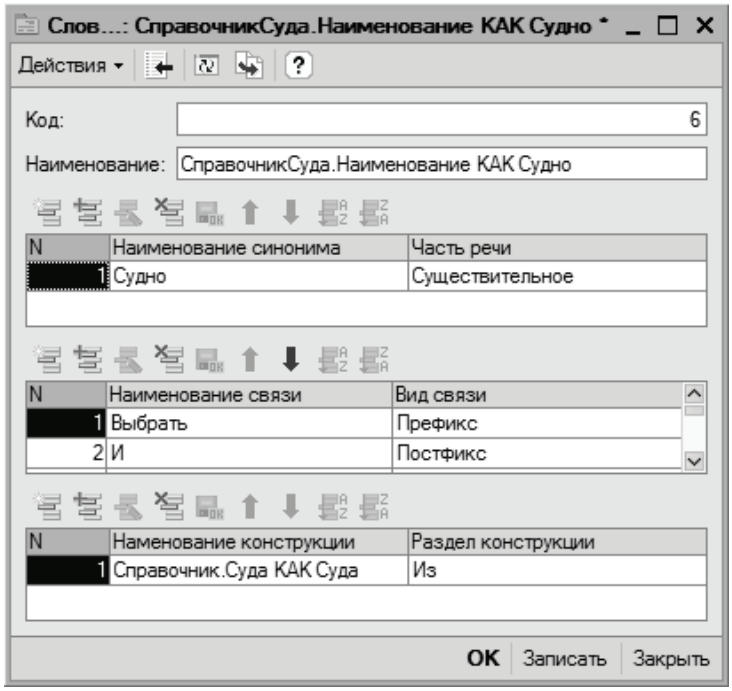


Рис. 3. Основной семантический словарь

В результате определяются действия для вершин потомков. В примере рассматриваемого запроса присутствует лексема «судов» (рис. 4), которой соответствует одна вершина построенного синтаксического дерева. Выделяем грамматическую основу этой лексемы — «судно».

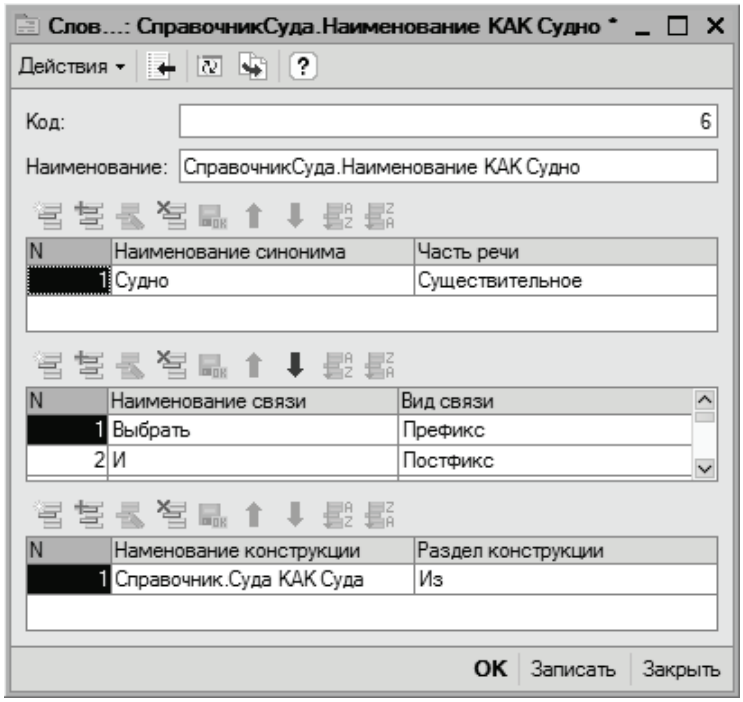


Рис. 4. Лексема «судно»

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 [4; 5].

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, пробегая 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 единственным возможным, и не будет применять дополнительную семантическую обработку результата.

Лексема «задержки» в соответствии со своей семантикой и построенным синтаксическим деревом (рис. 5) определяется как разность между ожидаемым и достигнутым результатом. Эта разность вычисляется конструкцией запроса, сформированной следующим образом:

«МИНУТА(ПассажирскоеРасписаниеВыполненое.Период)-
МИНУТА(РасписаниеПассажирскихСудов.Время) КАК Задержка
для пассажирского расписания, и

МИНУТА(РасписаниеПотокаВыполненое.Период)-
МИНУТА(РасписаниеГрузовыхСудов.Время) КАК Задержка для грузового».

Поскольку 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 «среднее» и «время» на «среднее время», а также «время» и «задержки» на «время задержки» в связи с совпадением семантики подчинения данно-

го набора лексем со словарной семантикой сущности. Завершающим этапом работы анализатора является обработка условия «за прошедший месяц». Стандартная функция «ТекущаяДата()» определяет текущий момент времени и преобразует условие «за прошедший месяц» к условию «за июнь 2012 г.» и добавляет его к выборке. Здесь проблемы не возникает, поскольку система просто заменяет фразу следующей группой условий:

«ГДЕ

Шлюзование.Период МЕЖДУ &НачПериода И & КонПериода»

Универсальные параметры анализатора «&НачПериода» и «&КонПериода» устанавливаются анализатором в значения «01.06.2012 00:00:00» и «01.07.2012 00:00:00» соответственно.



Рис. 5. Схема синтаксического дерева фрагмента запроса

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.

На следующем этапе работы механизма происходит процесс дефрагментации запроса, во время которого фрагменты, созданные на начальном этапе и преобразованные в дальнейшем ко внутренним элементарным конструкциям, «склеиваются» в единый запрос. В результате запрос

«ПОКАЗАТЬ СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ ЗАДЕРЖКИ СУДОВ ПРИ НАИБОЛЬШЕЙ ПЛОТНОСТИ СУДОПОТОКА ЗА ПРОШЕДШИЙ МЕСЯЦ»

будет преобразован к запросу

«ПОКАЗАТЬ СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ ЗАДЕРЖКИ ПАССАЖИРСКИХ И ГРУЗОВЫХ СУДОВ ПРИ НАИБОЛЬШЕЙ ПЛОТНОСТИ СУДОПОТОКА ЗА ИЮНЬ 2012 ГОДА»

С точки зрения семантического анализатора эти запросы тождественны в данный момент времени, возвращенного функцией «ТекущаяДата()». При изменении внутренней даты АИС тождественность этих запросов может быть нарушена, что повлечет за собой отображение некорректного результата. Эта проблема может быть исправлена повторным обращением к диалоговой системе с те же входным запросом на ЕЯ.

Полное синтаксическое дерево, соответствующее результирующему запросу в его шаблонном представлении, изображено на рис. 6.

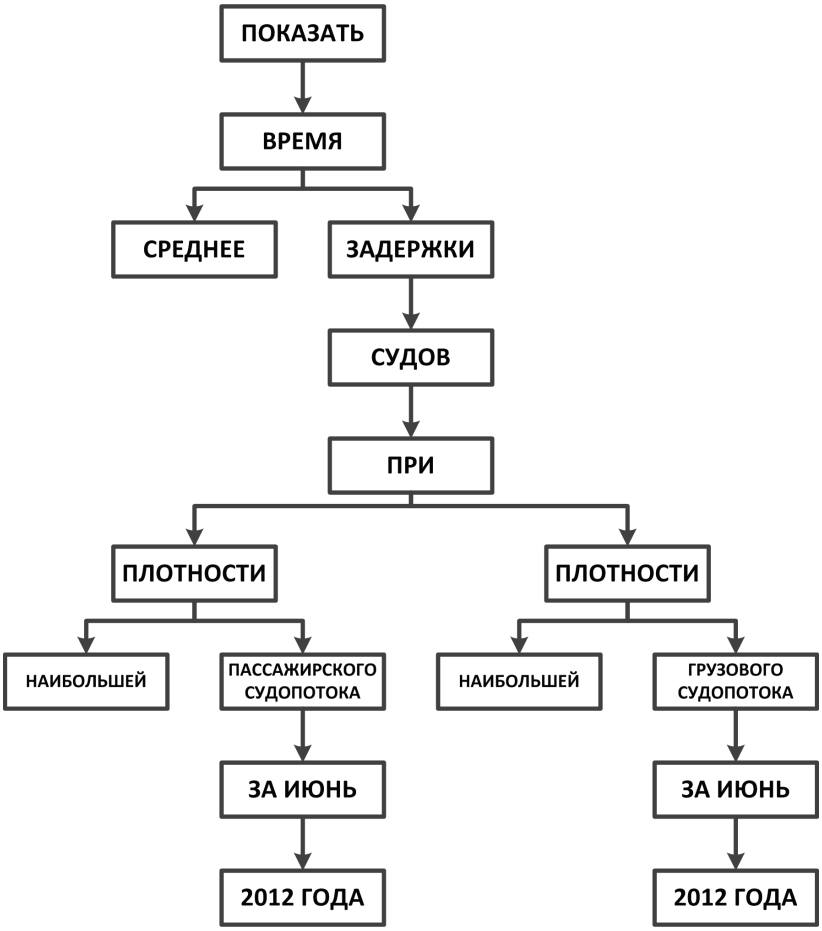


Рис. 6. Полное синтаксическое дерево шаблонного запроса

На заключительном этапе работы механизма синтаксический анализатор транслирует преобразованный запрос на ЕЯ в язык 1CQ:

«ВЫБРАТЬ
ШлюзованиеСудовСрезПоследних.Судно КАК Судно,
МИНУТА(ШлюзованиеСудовСрезПоследних.Период)-
МИНУТА(РасписаниеСудов.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
И (ВЫБРАТЬ
КОЛИЧЕСТВО (Судно) КАК Судно
ИЗ
РегистрСведений.ПассажирскоеРасписаниеВыполненое КАК ПассажирскоеРасписаниеВыполненое
ГДЕ

ПассажирскоеРасписаниеВыполненое.Период = МЕЖДУ

```
(&ДатаПлотностиНачало И &ДатаПлотностиКонец)
ОБЪЕДИНИТЬ
ВЫБРАТЬ
        КОЛИЧЕСТВО (Объект) КАК Судно
ИЗ
        РегистрНакопления.РасписаниеПотокаВыполненое КАК
РасписаниеПотокаВыполненое
ГДЕ
        РасписаниеПотокаВыполненое.Период = МЕЖДУ
(&ДатаПлотностиНачало И &ДатаПлотностиКонец)
        ) КАК Плотность»
```

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 «1С: 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 (&STime AND &ETime)
        AND (   SELECT
                        COUNT (Ship) AS Ship
                FROM
                        TablePassScheulleComplete
                WHERE
                        TablePassScheulleComplete BETWEEN (&SPTime AND &EPTime)
                UNION
                SELECT
                        COUNT (Obj) AS Ship
                FROM
                        TableCargoScheulleComplete
                WHERE
                        TableCargoScheulleComplete BETWEEN (&SDTime AND &EDTime)
                ) AS Density"
```

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 — существенно сократить и упростить процесс формирования отчетов.

Список литературы

1. *Журавлев А. Е.* Организация диалога с информационной системой оперативного учета судопропуска в шлюзованной системе на подмножестве естественного языка / А. Е. Журавлев // Журнал университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2012. — Вып. 3 (15).

2. Российский гуманитарный энциклопедический словарь: в 3 т. — М.: Гуманит. изд. центр «ВЛАДОС»: филол. ф-т С.-Петерб. гос. ун-та, 2002.

3. *Прияткина А. Ф.* Русский язык. Синтаксис осложненного предложения / А. Ф. Прияткина. — М.: Высш. шк., 1990. — 176 с.

4. *Тузов В. А.* Компьютерная семантика русского языка / В. А. Тузов. — СПб.: СПбГУ, 2003. — 392 с.

5. *Хомский Н. А.* Аспекты теории синтаксиса / Н. А. Хомский. — М., 1972. — 259 с.

СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

УДК 621.43

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

Д. С. Семионичев,
канд. техн. наук, СПГУВК

ВЫЯВЛЕНИЯ ОПАСНОСТЕЙ ОБЪЕКТОВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА МЕТОДОМ ФОРМАЛИЗОВАННОЙ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ

REVELATION OF HAZARDS OF THE WATER TRANSPORT FACILITIES BY THE FORMAL SAFETY ASSESSMENT

В статье рассмотрены различные способы, рекомендуемые для выявления опасностей в процессе применения формализованной оценки безопасности. Даны рекомендации к их использованию, проанализированы варианты их применения как по отдельности, так и в комбинации различных способов. Указаны преимущества и недостатки рассматриваемых методов.

In the article the different methods recommended for hazard identification using the formal safety assessment are considered. The guidelines for their appliance are given, the variants of methods application separately and in combination have been analyzed. The advantages and shortcomings of the considered methods are indicated.

Ключевые слова: формализованная оценка безопасности, риск, оценка, критерий, отказ, математическая модель, опасность, выявление опасностей.

Key words: formal safety assessment, risk, determination, criterion, failure, mathematical model, hazard, hazard identification studies.

ВЫЯВЛЕНИЕ опасностей (HAZID — Hazard Identification Studies) при выполнении формализованной оценки безопасности (ФОБ) выполнятся группой экспертов в исследуемой области. Обычно группа состоит из шести-десяти человек достаточной квалификации. Состав группы зависит от темы анализа и объема выполняемой работы. Он, как правило, определяется координатором проекта и обычно включает экспертов с хорошей теоретической подготовкой инженеров-исследователей, проектантов), а также специалистов, имеющих богатый опыт практической работы (капитанов судов, строителей судов или других объектов водного транспорта, обслуживающего персонала, представителей контролирующих органов (инспектор/сюрвейер).

Исходной информацией для выявления опасностей могут быть:

— детальное описание объекта (включает в себя техническое задание к проекту, спецификации, чек-листы, судовые чертежи, схемы эвакуационных путей судна, технологические карты, инструкции к операциям, руководства, разработанные производителями оборудования, и др.);

— определение целей области деятельности, в которой будет производиться исследование;

— подбор информации об опыте эксплуатации подобных объектов в прошлом, о произошедших инцидентах и авариях;

— определение количества и состава группы экспертов;

— составление плана реализации первого этапа (определение общего количества и продолжительности собраний экспертов, разработка расписания и повестки дня собраний);

— выбор методов, которые будут использованы при выявлении опасностей.

Существует достаточно большое количество методов, которые, как порознь, так и в комбинации, могут быть использованы при выявлении опасностей на первом этапе. Наиболее распространенные из них следующие:

— анализ «Что — если»/анализ чек-листа;
— анализ опасности и работоспособности;
— анализ характера отказов и их последствий;
— анализ дерева отказов;
— анализ дерева событий;
— функционально-физический анализ;
— количественный анализ риска;
— анализ заданий.

Суть методов рассмотрена ниже. Рекомендации по выбору методов выявления опасностей для различных видов деятельности и этапов функционирования объекта представлены в табл. 1 [1].

Таблица 1

Рекомендации по выбору методов выявления опасностей

Метод	Вид деятельности				
	размещение	ввод в эксплуатацию	проектирование	эксплуатация	модернизация, реновация
Анализ «Что — если»	0	++	+	++	+
Анализ чек-листа	0	+	++	+	++
Анализ опасности и работоспособности	0	+	++	+	++
Анализ дерева событий	0	+	++	+	++
Анализ дерева отказов	++	0	++	+	++
Количественный анализ риска	++	0	++	+	++

В таблице приняты следующие обозначения:

0 — наименее подходящий метод анализа;
\+ — рекомендуемый метод;
++ — наиболее подходящий метод.

Анализ «Что — если»/анализ чек-листа

Методы проверочного листа (Check List) и «Что будет, если...?» (What — If) или их комбинация относятся к группе методов качественной оценки опасности, которые основаны на изучении соответствия условий эксплуатации объекта или проекта действующим требованиям промышленной безопасности [2, с. 40–46; 3].

При использовании данного метода выявление опасностей выполняется при помощи постановки ряда вопросов, которые начинаются словами «Что, если?», например:

— Что произойдет, если выйдет из строя турбокомпрессор главного двигателя?
— Что произойдет, если механик допустит данную ошибку?
— Что произойдет, если возникнет резонанс?

Анализ опасности и работоспособности

Анализ опасности и работоспособности представляет собой метод идентификации возможных опасностей по всему объекту путем перечисления потенциальных отклонений от нормального протекания происходящих в нем процессов и последующей оценки опасности этих «отклонений». При этом «отклонения» получают при помощи ряда заранее определенных ключевых слов-указателей, которые помогают структурировать и систематизировать процесс поиска возможных отклонений.

Отклонения, определенные как события, способные привести к существенным нежелательным последствиям, анализируются в дальнейшем с целью выявления их причин.

Основные задачи, которые решаются в ходе применения метода:

— составление полного описания объекта или процесса, включая предполагаемые (возможные) состояния конструкции;

— систематическая проверка каждой части объекта или процесса с целью обнаружения путей возникновения отклонений от проектного замысла.

— принятие решения о возможности возникновения опасностей или проблем, связанных с данными отклонениями.

Исследование в общем случае предусматривает следующие этапы [2; 4]:

Этап 1 — определение целей, задач и области применения исследования;

Этап 2 — комплектование группы экспертов по исследованию HAZOP. Данная группа должна состоять из проектировщиков и эксплуатационников, обладающих достаточной компетентностью для оценки последствий отклонений от нормального функционирования системы.

Этап 3 — сбор необходимой документации, чертежей и описаний технологического процесса. Сюда могут входить: графики последовательности технологических операций; чертежи трубопроводов и измерительного оборудования; технические условия на оборудование, трубопроводы и измерительную аппаратуру; логические диаграммы управления технологическим процессом; проектные схемы; методики эксплуатации и технического обслуживания; методики реагирования на чрезвычайные ситуации и т. д.

Этап 4 — анализ каждой единицы основного оборудования и всего вспомогательного оборудования, трубопроводов и контрольно-измерительной аппаратуры с использованием документов, собранных на этапе 3.

Этап 5 — определение цели проектирования технологического процесса и на основании информации, собранной на этапе 4, составление полного списка атрибутов (параметров) рабочего процесса — «характеристики», свойства оборудования или рассматриваемой операции, например температура, давление, расход, уровень, химический состав, деформация, бортовая качка, килевая качка и т. д.

Этап 6 — применение слов-указателей (табл. 2) для каждой единицы оборудования по отношению к параметрам, определенным на предыдущем этапе, в результате чего можно выделить отклонения, для которых необходима разработка смягчающих мер.

Таблица 2

Пример использования стандартных слов-указателей

Слово-указатель	Определение
Нет, не, никакой	Ни одна из частей предполагаемого результата не достигается (например, нет расхода)
Больше, более	Количественное увеличение (например, высокое давление)
Меньше, менее	Количественное уменьшение (например, низкое давление)
А также	Качественное увеличение (например, дополнительный материал)
Часть (чего-то)	Качественное уменьшение (например, только один или два компонента в смеси)
Обратное, наоборот	Противоположное (например, противоток)
Иначе	Ни одна из частей замысла не осуществляется, происходит что-то совершенно другое (например, поток несоответствующего материала)
Рано, быстро	Временное уменьшение (например, опережающее срабатывание)
Поздно, долго	Временное увеличение (например, увеличенное время пуска)

Анализ характера отказов и их последствий

Анализ характера отказов и их последствий (FMEA — Failure Mode and Effects Analysis) представляет собой метод, при котором рассматриваются различные ошибки в элементах оборудования и производится оценка последствий этих ошибок системы.

Технология проведения FMEA-анализа включает два основных этапа [5–7]:

— этап построения структурной и функциональной моделей объекта анализа;

— этап исследования моделей.

На этапе исследования моделей:

1) анализируют рассматриваемый процесс или систему с целью определения перечня возможных отказов;

2) составляют список возможных последствий каждого отказа;

3) каждое последствие в соответствии с его значимостью оценивается экспертами обычно по 10-балльной шкале (при этом 10 соответствует самым тяжким последствиям);

4) вероятность возникновения последствия, а также вероятность обнаружения отказа и его последствий оценивают обычно также по 10-балльной шкале;

5) для каждого последствия производят количественную оценку комплексного риска дефекта, являющуюся произведением баллов значимости, вероятностей возникновения и обнаружения данного дефекта, — так называемое «приоритетное число риска» (ПЧР);

6) разрабатывают и принимают меры по устранению или сокращению отказов с высоким ПЧР;

Метод FMEA позволяет проанализировать потенциальные дефекты, их причины и последствия, оценить риски их появления и необнаружения при проектировании и изготовлении, а также принять меры для устранения или снижения вероятности их появления и ущерба от них.

Исследование вида и последствий отказа в дальнейшем можно расширить до количественного анализа вида, последствий и критичности отказа (Failure Mode, Effects and Critical Analysis — FMECA) [3]. При этом каждый вид отказа необходимо дополнительно проранжировать с учетом двух составляющих: вероятности (или частоты возникновения) и тяжести последствий отказа.

Понятие критичности близко к понятию риска и может быть использовано при более детальном количественном анализе риска аварии. Определение параметров критичности необходимо для дальнейшего анализа при выработке рекомендаций и определении приоритетности мер безопасности.

Результаты анализа FMECA представляют в виде таблиц с перечнем оборудования, видов и причин возможных отказов, частоты, последствий, критичности, средств обнаружения неисправности (сигнализаторы, приборы контроля и т. п.) и рекомендаций по уменьшению опасности.

Анализ дерева отказов

Анализ дерева отказов (FTA — Fault Tree Analysis) — совокупность приемов (качественного или количественного характера), при помощи которых путем анализа системы выявляют и выстраивают в логическую цепь те условия и факторы, которые могут способствовать определенному нежелательному событию, называемому вершиной событий. Далее для наглядности построенную логическую цепь представляют в графической форме (в виде последовательностей и комбинаций нарушений и неисправностей) и производят анализ возникновения отказа. Таким образом, дерево отказов представляет собой многоуровневую графологическую структуру причинных взаимосвязей, полученных в результате прослеживания опасных ситуаций в обратном порядке, построение которой позволяет облегчить обнаружение возможных причин возникновения нежелательных событий [4; 8–10]. Пример дерева отказов приведен на рис. 1.

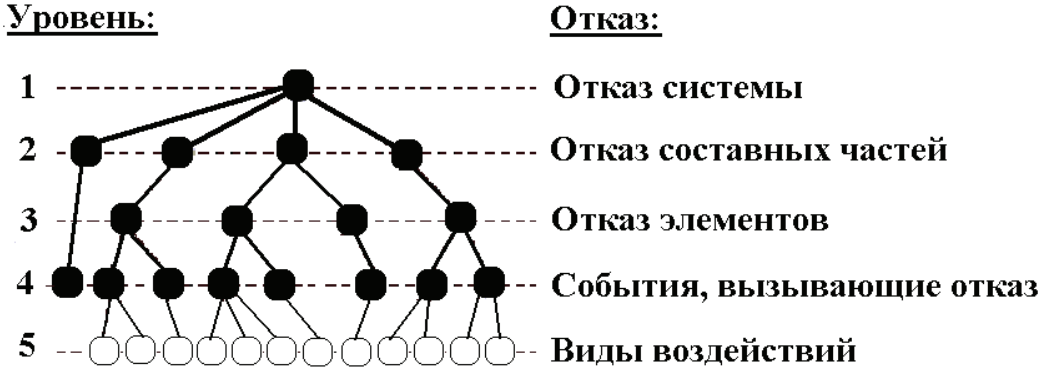


Рис. 1. Граф дерева отказов

Неисправностями или авариями, идентифицируемыми в «дереве», могут быть события, связанные с механическими повреждениями конструкции компонента, ошибками персонала или любыми другими событиями, которые влекут за собой отказ системы. Начиная с вершины событий, выявляются возможные причины или аварийные состояния следующего, более низкого функционального уровня системы. Дальнейшая поэтапная идентификация нежелательного функционирования системы в направлении последовательно снижающихся уровней приводит к искомому уровню, которым является аварийное состояние компонента.

Метод FTA можно использовать также и при идентификации опасностей, хотя в первую очередь он обычно применяется при оценке риска в качестве средства для определения вероятностей или частот неисправностей и аварий.

Преимущество метода анализа дерева отказов заключается в том, что анализ ограничивается выявлением только тех элементов системы и событий, которые приводят к данному конкретному отказу системы или аварии, позволяет наглядно выявить ненадежные места в системе, позволяет специалистам поочередно сосредоточивать внимание на отдельных отказах системы и обеспечивает представление о поведении системы и понимание происходящих в ней процессов. К недостаткам метода можно отнести значительную трудоемкость построения дерева отказов, трудность учета и понимания влияния на комбинации нескольких отказов, происходящих одновременно. В связи с этим для охвата всех видов множественных отказов требуются значительные затраты сил и времени.

Анализ дерева событий

Анализ дерева событий (Event Tree Analyisis — ETA) представляет собой общий подход, который может быть использован для самых разнообразных целей. Этот метод предназначен для описания алгоритма построения последовательности событий, исходящих из основного события (аварийной ситуации), и используется для анализа развития этой аварийной ситуации [2].

Частота каждого сценария развития аварийной ситуации рассчитывается путем умножения частоты основного события на вероятность конечного события (например, утечка топлива в машинном отделении в зависимости от внешних факторов может развиваться как с возгоранием, так и без возгорания топлива).

Дерево возможных последствий события моделирует возможные исходы какого-либо начального события, способного привести к тому или иному конечному событию, представляющему интерес для анализа. Такое дерево позволяет систематизированно разграничить последовательности событий при аварии с точки зрения благоприятных или нежелательных исходов для систем и/или событий, образующих эти последовательности. В результате дерево, начавшись с одного исходного события, заканчивается множеством конечных состояний с учетом всевозможных исходов. В связи с этим при использовании метода анализа дерева событий для исследования

системы требуется строить отдельное дерево применительно к каждой группе исходных событий, выявленных после группирования исходных факторов.

Пример дерева возможных последствий события представлен на рис. 2.

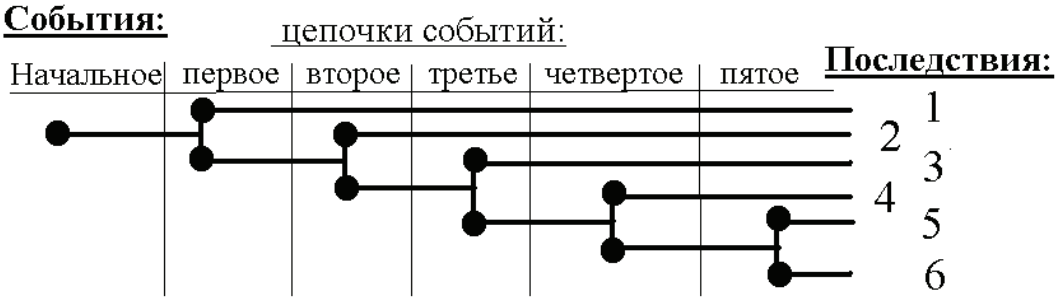


Рис. 2. Граф дерева событий

Преимуществом данного метода является возможность проведения как качественного описания аварийных сценариев, так и количественной оценки вероятности их реализации. Однако ввиду высокой трудоемкости данного метода он применяется, как правило, для анализа проектов создания или модернизации сложных и нестандартных технических систем и производств.

Функционально-физический анализ

Метод функционально-физического анализа (ФФА) был разработан с целью исследования физических принципов действия технических объектов, отклонений от правильного их функционирования. На основании этого анализа может быть дана оценка качества принятых технических решений, и при необходимости может быть проведено их усовершенствование.

Обычно ФФА проводится в следующей последовательности [11; 12]:

1) формулировка проблемы, которая должна включать назначение технического объекта, описание условий его функционирования и технические требования к нему;

2) составление описания функций технического объекта, включающее его краткую характеристику:

— объект (элемент объекта), на который направлено действие;

— условия работы рассматриваемого технического объекта на всех стадиях его жизненного цикла;

— действия, выполняемые рассматриваемым объектом;

3) построение логических связей и проведение анализа надсистемы технического объекта (внешняя среда и объекты, окружающие и взаимодействующие с анализируемым объектом);

4) составление списка технических требований к функционированию рассматриваемого объекта;

5) построение функционально-логической модели технического объекта;

6) анализ физических принципов действия технического объекта;

7) аналитическое определение технических и физических противоречий в функционировании технического объекта;

8) определение способов разрешения противоречий и направлений совершенствования технического объекта.

Метод ФФА позволяет оценить качество принятых технических решений, предложить новые проектные решения, создавать в короткие сроки высокоэффективные образцы техники и технологии. Однако его применение требует весьма высокой квалификации группы экспертов, проводящей анализ, поскольку в противном случае весьма вероятны пропуски существенных элементов при построении логической модели взаимодействия рассматриваемого объекта (системы) с внешней средой и компонентов внутри анализируемой системы.

Проведенный анализ методов выявления опасностей обобщен авторами в табл. 3, которая наряду с табл. 1 может быть использована в качестве рекомендации к выбору подходящего метода выявления опасностей при применении ФОБ. На основе изложенных принципов авторами разработаны методические рекомендации по прогнозу и оценке рисков при обосновании целесообразности модернизации судовых энергетических установок.

Таблица 3

Результаты анализа методов выявления опасностей

Метод	Показатель				
	простота применения	дешевизна	полнота анализа	наглядность	рекомендуемое применение
Анализ «Что — если»	++	++	0	+	объекты с незначительным риском крупной аварии
Анализ чек-листа	++	+	+	0	наличие опыта эксплуатации аналогичных объектов
Анализ опасности и работоспособности	+	+	++	++	вновь создаваемые сложные объекты
Анализ дерева событий	+	0	+	++	структурированные и объекты
Анализ дерева отказов	+	0	+	++	структурированные и объекты
Количественный анализ риска	0	+	+	++	любые объекты

В таблице приняты следующие обозначения:
0 — не соответствует критерию;
+ — соответствует критерию;
++ — соответствует критерию в наибольшей степени.

Список литературы

1. РД 08-120-96, Госгортехнадзор России, постановление № 29 от 12 июля 1996 г.: метод. указ. по проведению анализа риска опасных промышленных объектов. Шифр РД 08-120-96.

2. *Хан Дж. Дж.* Ускоренный анализ надежности / Дж. Дж. Хан, Н. Доганаксой, У. К. Микер // Методы менеджмента качества. — 2009. — № 7.

3. РД 08-120-96: метод. указ. по проведению анализа риска опасных промышленных объектов. — М.: Госгортехнадзор России, 1996.

4. ГОСТ Р 51901-2002: Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. — М.: Госстандарт России, 2002.

5. ГОСТ Р 51814.2-2001. Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. — М.: Изд-во стандартов, 2001. — 18 с.

6. *Кузьмин А. М.* Метод анализа видов и последствий отказов / А. М. Кузьмин // Методы менеджмента качества. — 2004. — № 11.

7. *Бычкова А. Н.* Анализ характера и последствий отказов: лекция / А. Н. Бычкова, Г. А. Рудаковская. — Пенза: ПГУ, 2004. — Вып. 5. (В помощь студенту, Сер. «Качество»).

8. ГОСТ Р 51901.13-2005 (МЭК 61025:1990) Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей. — М.: Стандартинформ, 2005.

9. Надежность технических систем и техногенный риск [Электронное учебное пособие МЧС]: Информационный портал ГУ МЧС России по г. Москве. Электрон. дан. Режим доступа: http://www.mchs.emermos.ru/acko/education/reliability/index.html

10. *Коваленко О. В.* Дерево отказов как подсистема для определения интенсивности перехода между состояниями в графе состояний и переходов между ними / О. В. Коваленко, В. П. Соловьев // XXV Междунар. конф. по безопасности систем, август 2007 г. — Балтимор, США, 2007.

11. *Колоколов В. А.* Функционально-физический анализ инновационных решений / В. А. Колоколов. — М.: Изд-во Рос. экон. акад., 2001.

12. *Половинкин А. И.* Основы инженерного творчества / А. И. Половинкин. — М.: Машиностроение, 1988.

13. *Медведев В. В.* Методические рекомендации по прогнозу и оценке рисков при обосновании целесообразности модернизации судовых энергетических установок / В. В. Медведев, Д. С. Семиоличев // Российский морской регистр судоходства: науч.-техн. сб. — 2009. — № 32. — С. 171–181.

14. *Семиоличев Д. С.* Практические аспекты применения первого этапа формализованной оценки безопасности в судостроении. Методы анализа опасности и риска / Д. С. Семиоличев // Тр. ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2009. — Вып. № 49 (333). — С. 149–158.

УДК 621.396.03. 656.62.007

О. В. Соляков,
канд. техн. наук, доцент,
СПГУВК;

А. К. Гусев,
СПГУВК

ТРЕБОВАНИЯ К СПУТНИКОВОМУ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЮ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ РОССИИ

REQUIREMENTS FOR THE SATELLITE POSITIONING ON THE INLAND WATERWAYS RUSSIA

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 ВВП, для повышения обеспеченной безопасности судоходства и защиты окружающей среды.

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 and the environment protection.

Ключевые слова: внутренние водные пути.
Key words: inland waterways.

ВНЕДРЕНИЕ инструментальных методов навигации на внутреннем водном транспорте привело к повсеместному и все возрастающему внедрению приборов, использующих высокоточные системы спутникового местоопределения: приемоиндикаторы ГЛОНАСС/GPS, транспондеры АИС, спутниковые компасы и комплексы ЭКДИС. При выполнении дноуглубительных работ, постановке знаков навигационного оборудования, картографических съемках

широко применяются автоматизированные промерные и обстановочные комплексы, также использующие высокоточные системы спутникового местоопределения. Обеспечение требуемой гарантированной точности местоопределения становится весьма необходимым мероприятием навигационно-гидрографического обеспечения на внутренних водных путях (ВВП) [1; 2, с. 160–165].

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 ВВП, для повышения обеспеченной безопасности судоходства и защиты окружающей среды.

Сегодня с целью обеспечения безопасности эксплуатации внутреннего водного транспорта и его эффективного экономического развития на ВВП и защиты окружающей среды выработан ряд нормативных документов:

— утвержденная Распоряжением Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734р «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года». В разд. V п. 7 «Развитие транспортной техники, технологий и информационного обеспечения» декларируется, что «...важным направлением развития инфотелекоммуникационных технологий в сфере транспорта является оснащение транспортных, технических средств и систем аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS, в том числе судов внутреннего речного и смешанного (река–море) плавания»;

— в целях обеспечения национальной безопасности, проведения независимой политики в области спутниковой навигации, повышения эффективности управления движением транспорта, уровня безопасности перевозок пассажиров, специальных и опасных грузов, а также совершенствования геодезических и кадастровых работ Правительство РФ в Постановлении от 25 августа 2008 г. № 641 «Об оснащении транспортных, технических средств и систем аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS» постановило:

«1. Оснащению аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS подлежат следующие транспортные, технические средства и системы:

— морские суда и суда внутреннего речного и смешанного (река–море) плавания;

— федеральным органам исполнительной власти обеспечить с 2010 г. проведение работ по поэтапному оснащению аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS находящихся в эксплуатации (вводимых в эксплуатацию) транспортных, технических средств и систем, указанных в п. 1 настоящего постановления».

Минтранс РФ Приказом № 280 от 16 декабря 2010 г. 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 освидетельствования органом классификации после 1 июля 2012 г., но не позднее 31 декабря 2013 г.

Сегодня Россия имеет самую протяженную в мире эксплуатируемую сеть внутренних водных путей — 101,3 тыс. км, из них более 16 тыс. км приходится на искусственные, на которых имеются 100 шлюзов, 70 плотин, крупные насосные станции. Единая глубоководная система европейской части России (ЕГС) протяженностью 6,5 тыс. км входит в состав важнейших внутренних водных путей международного значения. Внутренний водный транспорт продолжает играть важную роль в жизнеобеспечении труднодоступных районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей.

Внутренние судоходные пути подразделяются на естественные (свободные) — реки (Амур, Лена, Енисей, Обь, Иртыш, Печора, Урал, Северная Двина, Нева, Вятка, Белая и др.) и озера, используемые для судоходства в естественном состоянии, и искусственные (зарегулированные) — каналы, водохранилища и реки (Волга, Кама, Дон и др.), режим стока (речного) и

уровни воды которых значительно отличаются для судоходных путей, эксплуатируемых в Российской Федерации.

Учитывая тот факт, что судовождение на ВВП, в отличие от морского перехода судна, является лоцманской проводкой судна, это связано с ограниченными сложными условиями плавания во время прохода перекатов, устоев мостов и подходов к гидротехническим сооружениям. Для обеспечения безопасного плавания на ВВП в вышеуказанных районах плавания, необходимо использовать навигационную спутниковую информацию в виде маршрутных координат, для которой важны следующие основные составляющие, обеспечивающие безопасную эксплуатацию судна:

— допустимое отклонение судна от оси судового хода;

— кромка судового хода;

— знание километража судового хода, на котором находится судно;

— определение точного местоположения судна.

На учете Российского речного регистра эксплуатируемых на ВВП состоит 24,5 тыс. судов, бóльшая часть которых относится к «…пассажирским, перевозящим опасные грузы, независимо от вместимости, самоходным транспортным судам классов "М" и "О" валовой вместимостью 300 и более тонн». РРР определил для этих судов требования к навигационному оборудованию, в том числе к навигационной аппаратуре потребителя «НАП» [3]:

«25.8.5.3. Точность обсерваций в статическом и динамическом режимах работы; геометрическом факторе ухудшения точности определения двухмерных координат (HDOP), равном 4, или трехмерных координат (PDOP), равном 6 с погрешностью (для вероятности 95 %) не более:

— 100 м по КА GPS с включенным режимом селективного доступа;

— 45 м по КА ГЛОНАСС;

— 35 м при совместном использовании КА ГЛОНАСС и GPS с включенным режимом селективного доступа;

— 10 м при приеме и обработке сигналов дифференциальных поправок».

Из Национального стандарта РФ «Глобальные навигационные спутниковые системы "Морские дифференциальные подсистемы контрольно-корректирующая станция"» [4]:

«5.3.6. Показатель качества поправок.

При скорости передачи корректирующей информации (КИ) 100 бод и наличии в зоне радиовидимости 9 спутников, для которых формируются поправки, СКП формируемых поправок "многофункциональной" опорной станции (ОС) не должна превышать 0.6 м, а СКП "морской" ОС не должна превышать 1.4 м».

Кроме того, Резолюция ИМО А.915 (22) на период после 2010 г. содержит требования по точности определения координат места судов при плавании в открытом море 10 м, а в портах и на подходах к ним — 1 м (с вероятностью 0,95 %).

Учитывая вышеперечисленные особенности плавания на ВВП, использование навигационной информации при ее получении с вероятностью 95 % и реальное состояние работы контрольно-корректирующих станций, а именно выполнение необходимых точностных характеристик позиционирования навигационного объекта, сегодня не обеспечивается необходимая безопасность судна при плавании на ВВП.

Для сегмента приема и обработки навигационной информации на ВВП необходима НАП, которая предназначена для безопасного навигационного обеспечения судов речного флота при движении по озерам, водохранилищам, рекам и каналам.

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, E1B и E1C — 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 ± 0,2 %, передающих корректирующую информацию для ГНСС, на базе отечественных приемовычислительных модулей соответствующих систем;

— береговых радиомаяков в диапазоне GSM- и УКВ-частот, обеспечивающих с помощью Real Time Kinematic (RTK) трансляцию и прием поправок, которые вносят уточнения не только в кодовые, но и в фазовые измерения. Благодаря этому режиму достигается сантиметровая точность.

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. Более того, требования безопасности навигации для судов и буксиров на ВВП при инструментальной проводке требуют точности (с вероятностью 0,95 %) 2–5 м, при проводке судов через судоходные пролеты мостов (в зависимости от геометрических размеров судна) с использованием режима RTK — 0,5–1,0 м, а при шлюзовании — до 0,3 м. Кроме того, решение задач безопасности судоходства в указанных фазах плавания требует знания истинного курса (ИК) и суммарного угла сноса, обусловленного воздействием ветра и течения с точностью (СКО) 1–3°.

Решение поставленной задачи для речного транспорта приведет не только к повышению безопасности плавания, но и к сокращению экономических потерь, обусловленных простоем судов при неблагоприятной навигационной обстановке и большой перегруженности ограниченных водных путей.

Список литературы

1. *Соляков О. В.* Концептуальный подход использования спутниковой навигации на внутренних водных путях / О. В. Соляков // Тез. докл. III Междунар. конф. по развитию портов и судоходства. Развитие судоходства по внутренним водным путям России: круглый стол, 3 октября 2012 г., ЛЕНЭКСПО, Санкт-Петербург. — СПб.: СПГУВК, 2012. — 7 с.

2. *Зуев В. Ф.* Основные аспекты повышения точности местоопределения судов на сложных участках внутренних водных путей (постановка задач) / В. Ф. Зуев, О. В. Соляков // Журнал университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2012. — Вып. 3 (15).

3. Российский речной регистр судоходства. Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания: в 4 т. — М., 2009. — Т. 3. — 432 с.

4. Национальный стандарт РФ «Глобальные навигационные спутниковые системы "Морские дифференциальные подсистемы. Контрольно-корректирующая станция". Общие требования, методы испытаний и требуемые результаты испытаний». — М.: Стандартинформ, 2012. — 67 с.

ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 504.3.054: 621.43.068.4

М. М. Хачоян,
аспирант,
ФГБОУ ВПО «Государственный морской университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова»;

А. В. Туркин,
канд. техн. наук,
ФГБОУ ВПО «Государственный морской университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова»;

В. А. Туркин,
д-р техн. наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Государственный морской университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТ ОКСИДОВ АЗОТА В ПРИСУТСТВИИ ОЗОНА

STUDY OF INSTULLATION EFFECTIVENESS FOR INVESTIGATION OF THE INSTALLATION EFFECTIVENESS FOR FLUE GAS CLEANING FROM NITROGEN OXIDES IN THE PRESENCE OF OZONE

Приводятся экспериментально полученные зависимости степени очистки реальных дымовых газов от оксидов азота в абсорбере от удельного расхода озона.

We present experimentally obtained dependence of the real degree of purification of flue gases from nitrogen oxides in the absorber of the specific consumption of ozone.

Ключевые слова: дымовые газы, оксиды азота, очистка, абсорбер, озон.
Key words: flue gases, nitrogen oxides, cleaning, absorber, ozone.

ПРОБЛЕМА снижения выбросов оксидов азота (NO_x) с дымовыми газами судовых энергетических установок определяет большое количество способов и подходов к ее решению. Широкое распространение получили режимно-технологические (первичные природоохранные) мероприятия по снижению концентрации NO_x в дымовых газах. Но в судовых условиях первичные мероприятия, несмотря на результативность получения низких концентраций NO_x в дымовых газах, в ряде случаев не исключают превышения концентраций NO_x над их значениями, рекомендованными Конвенцией МАРПОЛ 73/78. Поэтому для обеспечения чистоты воздушного бассейна требуются дополнительные (вторичные) природоохранные мероприятия с более глубоким снижением концентраций NO_x в дымовых газах.

Первичные методы подавления NO_x в топочной камере вытекают из анализа влияния основных факторов на их образование.

Наиболее распространенным способом подавления NO_x в топке котла или цилиндре дизеля является рециркуляция дымовых газов в топочную камеру [1; 2, с. 81–83]. Для организации рециркуляции дымовые газы обычно после водяного экономайзера при температуре 300–400 °С отбираются специальным рециркуляционным дымососом и подаются в топочную камеру. При этом большое значение имеет способ ввода газов в топочную камеру: через шлицы под горелками, через кольцевой канал вокруг горелок и подмешивание газов в дутьевой воздух перед горелками. Самым эффективным является последний способ, при котором в наибольшей степени происходит снижение температуры в ядре факела.

Следует иметь в виду, что организация рециркуляции связана с некоторыми дополнительными усложнениями. Транспортировка запыленных газов повышенной температуры требует установки специальных дымососов рециркуляции и связана с затратой дополнительной энергии на собственные нужды. Рециркуляция дымовых газов повышает сопротивление газового тракта и может вызвать некоторое ухудшение условий горения.

Двухстадийное сжигание топлива — наиболее радикальный способ снижения образования NO_x. По этому методу в первичную зону горения подается воздуха меньше, чем это теоретически необходимо для сжигания топлива (коэффициент избытка воздуха $\alpha = 0{,}8 \div 0{,}95$).

Во вторичную зону подается чистый воздух или обедненная топливом смесь для дожигания продуктов неполного сгорания. Теплоотвод в первичной зоне горения снижает температуру газов настолько, что заключительная стадия процесса горения происходит при более низкой температуре.

Подача воды и пара в зону горения приводит к снижению образования NO_x. В настоящее время достаточно апробированных материалов о количественной и качественной стороне этого влияния применительно к котлам и газотурбинным установкам, получен положительный эффект с некоторым увеличением тепловых потерь с уходящими газами. Для снижения выбросов NO_x могут использоваться и другие методы снижения их генерации. К ним относятся уменьшение избытка воздуха в топке, снижение температуры подогрева воздуха.

Перечисленные способы при комплексном использовании могут существенно снизить образование NO_x. Вместе с тем следует отметить, что реализация перечисленных мероприятий возможна не во всех случаях.

Вторичные методы снижения выбросов NO_x с дымовыми газами (связанные с системами газоочистки) пока не нашли широкого промышленного применения в нашей стране из-за больших затрат [1; 2]. Обеспечить современные требования по выбросам NO_x с дымовыми газами теплогенерирующих установок возможно при использовании специальных химических методов очистки газов, в частности методов селективного каталитического (СКВ) и некаталитического (СНКВ) восстановления оксидов азота.

Процессы СНКВ основаны на избирательном взаимодействии NO_x с восстановителями (аммиаком или карбамидом) в газовой фазе при температуре 900–1200 °С [1–3].

На основе результатов экспериментальных исследований и опытно-промышленных испытаний на топливосжигающих промышленных агрегатах ряда химических предприятий осуществлено внедрение СНКВ-технологий с использованием аммиака в качестве восстановителя. Результаты внедрения показывают, что эффективность очистки дымовых газов некаталитическим методом в промышленных условиях достигает 80–90 %.

Эти установки очистки действуют на предприятиях, где производится аммиак и отсутствуют проблемы, связанные с его поставкой, хранением и использованием. В судовых условиях применение больших количеств аммиака для очистки газовых выбросов от NO_x экологически небезопасно. Эта проблема может быть решена путем использования карбамида, который менее опасен, чем аммиак, но является более дорогим продуктом.

Технологии, использующие высокотоксичный реагент аммиак, не только опасны с экологической точки зрения, но и требуют надежной дозировки, точного контроля и последующего дожигания. Кроме того, метод СНКВ требует равномерного распределения введенного аммиака или карбамида в зоне горения с температурой 1000 °С, что на практике обеспечить весьма сложно, а это не позволяет достичь высокой эффективности процесса. Помимо этого, в карбамидном методе восстановления NO_x содержится дополнительная стадия, связанная с использованием большого количества оборотной воды и нейтрализацией сточных вод. В связи с этим интенсивно ведутся разработки безаммиачных каталитических методов обезвреживания NO_x, наиболее перспективным из которых является процесс СКВ оксидов азота с использованием в качестве восстановителя углеводородов.

Наиболее активными для процесса селективного восстановления NO_x являются катализаторы, содержащие благородные металлы. Основным недостатком таких катализаторов является высокая стоимость.

Из других методов очистки дымовых газов от NO_x можно отметить абсорбционную очистку с применением водно-щелочного раствора трилона Б. В соответствии с этой технологией дымовые газы очищаются как от NO_x, так и от SO_x. Недостатком этой технологии является необходимость регенерации отработанного раствора, что требует установки соответствующего оборудования и повышает стоимость очистки.

Кроме того, снижение выбросов NO_x в дымовых газах можно осуществлять пропусканием очищаемых газов через слой пористых гранул (например, силикагель, алюмогель, активированный уголь, кокс с восстановлением аммиаком).

Также применяются и физико-химические способы очистки дымовых газов от SO_x и NO_x с использованием комплекса солей или кислот, озона, коронного разряда, электронно-лучевого воздействия. Реакция окисления оксида азота (II) озоном протекает с большой скоростью. Основная трудность очистки дымовых газов от NO_x по этому способу состоит в сложности и значительных затратах электроэнергии для получения больших количеств озона. Остальные физико-химические методы также требуют значительных экономических затрат и находятся на стадии опытно-промышленных испытаний.

Сравнительный анализ показывает: известные вторичные методы снижения выбросов NO_x, связанные с системами газооочистки, хотя и обеспечивают высокую степень очистки дымовых газов, но при этом связаны со значительными затратами и основаны на использовании вредных химических реагентов, что требует разработки иных, экономически и экологически эффективных методов. Отсюда можно сделать следующие выводы:

1) большинство каталитических способов очистки отличаются, как правило, высокой стоимостью катализаторов, сложностью оборудования и его эксплуатации, что влечет за собой повышение себестоимости вырабатываемой энергии, в результате чего использование их в таких масштабных процессах, как очистка дымовых газов, затруднительно;

2) каталитические, некаталитические и абсорбционные способы очистки осуществляются только с помощью химических реагентов (аммиак, едкий натр, карбамид, трилон Б и др.), что требует организации бесперебойного снабжения этими реагентами и сопровождается появлением дополнительных дренажных стоков, состоящих из отработанных растворов с химическими реагентами. Кроме того, использование химических реагентов влечет за собой появление осаждения солей на теплообменных поверхностях и газоходах и опасность проскока этих реагентов и их производных в очищенные от оксидов азота дымовые газы и далее в атмосферу, что снижает технологическую и экологическую эффективность работы котельных агрегатов.

Анализ особенностей процессов очистки показывает, что очистку дымовых газов судовых энергетических установок от вредных примесей, и в первую очередь от NO_X, возможно осуществить при окислении оксида азота (II) до оксида азота (IV) абсорбцией, протекающей параллельно с конденсацией водяных паров дымовых газов, образовавшихся в процессе горения топлива в цилиндре дизеля или топке котла. Теория и практика абсорбционных процессов показывает, что одним из главных факторов, определяющих технологическую и экономическую эффективность абсорбции, является выбор абсорбента.

Общеизвестно, что из многих химических реагентов наиболее доступным и безопасным с точки зрения эксплуатации и экологии является вода. Однако ее использование для абсорбции оксидов азота, содержащих до 95 % NO из дымовых газов, нереально ввиду очень малой растворимости NO в воде. В то же время диоксид азота быстро поглощается водой с образованием азотной и азотистой кислот. Отсюда следует, что абсорбция NO_x дымовых газов водой возможна только при дальнейшем окислении NO до NO_2. Быстрое окисление NO в NO_2 происходит при использовании в качестве окислителя озона, который при попадании в атмосферу быстро трансформируется в молекулярный кислород, не загрязняя ее. При этом современный уровень развития техники позволяет получать озон непосредственно на месте его потребления. Температура, при которой равновесие реакции окисления оксида азота (II) сдвинуто полностью вправо, должна быть ниже 100 °С. Присутствие в дымовых газах оксида серы SO_2 не меняет технологии очистки, так как

скорость и степень ее окисления выше, чем у NO. Кроме того, очистка дымовых газов по этому способу позволяет при дальнейшей обработке удалить из них бóльшую часть диоксида углерода и утилизировать его.

Таким образом, использование в качестве окислителя озона обеспечивает одновременную очистку дымовых газов от NO_x, водяных паров, снижение их тепловых выбросов и утилизацию значительной части тепла и улавливаемых компонентов путем проведения одновременных процессов охлаждения, конденсации водяных паров, окисления монооксида азота до диоксида азота и абсорбции полученного диоксида азота, что позволяет повысить технико-экономические и экологические характеристики судовой энергетический установки.

Для практического внедрения рассматриваемого способа очистки дымовых газов от оксидов азота был проведен эксперимент, целью которого являлось определение кинетических характеристик основного аппарата очистки — эмульгационно-пленочного трубчатого абсорбера (ЭПТА), проверка его работоспособности при очистке реальных дымовых газов для получения технологических параметров, по которым может быть рассчитан и спроектирован абсорбер судовой установки очистки дымовых газов от оксидов азота. Проведение эксперимента осуществлялось в две стадии [4, с. 139–141].

На первой стадии эксперимента определялась скорость массопередачи в подъемной трубе эргазлифта (эмульгационная секция) и в трубах пленочной секции в рабочих режимах, находились коэффициенты массоотдачи, сравнивались их значения с известными значениями коэффициентов массоотдачи и подбирались расчетные уравнения для их определения.

На второй стадии (при найденных рабочих режимах) экспериментально определялась эффективность очистки реальных дымовых газов от оксидов азота в присутствии озона на лабораторной установке.

Технологическая схема экспериментальной лабораторной установки с пленочной секцией, работающей при противотоке, приведена на рис. 1 и включает в себя отопительный котел *1*, соединенный по дымовым газам через отвод от дымохода *2*, снабженный шибером *3*, осевой вентилятор *4* газохода с патрубком *А* эмульгационно-пленочного абсорбера (ЭПТА) *5*, который через патрубок *В* соединен трубопроводом с газовым ротаметром *10*, компрессором *8* и озонатором *9*, а через патрубок *Д* — с атмосферой.

По жидкости ЭПТА *6* соединен через патрубок подачи абсорбента *Б*, жидкостной ротаметр *11*, краны *15* и *16* трубопроводом с напорным баком *2*, размещенным на высоте $h_б$ относительно уровня абсорбента в абсорбере *6*, обеспечивающем необходимый постоянный напор для непрерывного поступления в него свежей воды, а через патрубок отвода насыщенного абсорбента *Г* и кран *17* — с дренажом *18*. Озоновоздушная линия после компрессора *8* соединена через вентиль *12* с озонатором *9*, а через вентиль *14* может сообщаться с атмосферой.

Для работы пленочной секции ЭПТА *5* при противотоке подачу дымовых газов осуществляют через патрубок *Д*, а отвод очищенных газов в атмосферу через патрубок *А*.

После того как в аппарате устанавливался стационарный режим (прямоточный восходящий в подъемной трубе и противоточный пленочный в пленочной секции), одновременно медленно и поочередно открывались краны *15–17*, следя за стабильностью уровня жидкости в кубе ЭПТА, добиваясь установления заданного расхода жидкости по показаниям ротаметра *10*.

При наступлении требуемого стабильного режима производился отбор пробы дымовых газов поочередно на выходе из подъемной трубы и из одной из труб *6* из пробоотборника путем его перемещения (пробы дымовых газов на входе в ЭПТА *5* отбирали в газоходе перед патрубком *А*). При этом пробы абсорбента отбирали через пробоотборники и патрубок *14* (*Г*) для последующего определения концентраций NO_x и других вредных примесей. Для увеличения достоверности результатов анализа отбор проб повторяли.

Измерение расхода дымовых газов и охлаждающего воздуха из помещения, подаваемых в ЭПТА *5*, проводили при помощи анемометра путем предварительной калибровки изменения угла поворота шибера *3* и заслонки при стационарном режиме работы котла *1* и вентиляторов *4* и *6*,

а расход абсорбента L_A и озоновоздушной смеси $V_{ОВ}$ проводили так же, как и в первой стадии эксперимента. Измерение температуры воздуха в помещении, воды в напорном баке *7* ($t_Н$) абсорбента на выходе из ЭПТА *6* ($t_А$), озоновоздушной смеси ($t_{ОВ}$) и дымовых газов на входе в ЭПТА *6* ($t_{Г1}$) и на выходе из него ($t_{Г2}$) проводили при помощи ртутных термометров (относительная погрешность ±0,1 %). Концентрацию NO_x в дымовых газах определяли при помощи переносного автоматического газоанализатора ДАГ-16. Концентрацию NO_x в воде определяли колориметрическим способом (относительная погрешность измерений ±2–3 %). Концентрацию O_3 в воде определяли при помощи анализатора озона «Озон-В» (относительная погрешность измерений ±3 %), в газе — газоанализатором 3.02П-Р (относительная погрешность ±20 %).

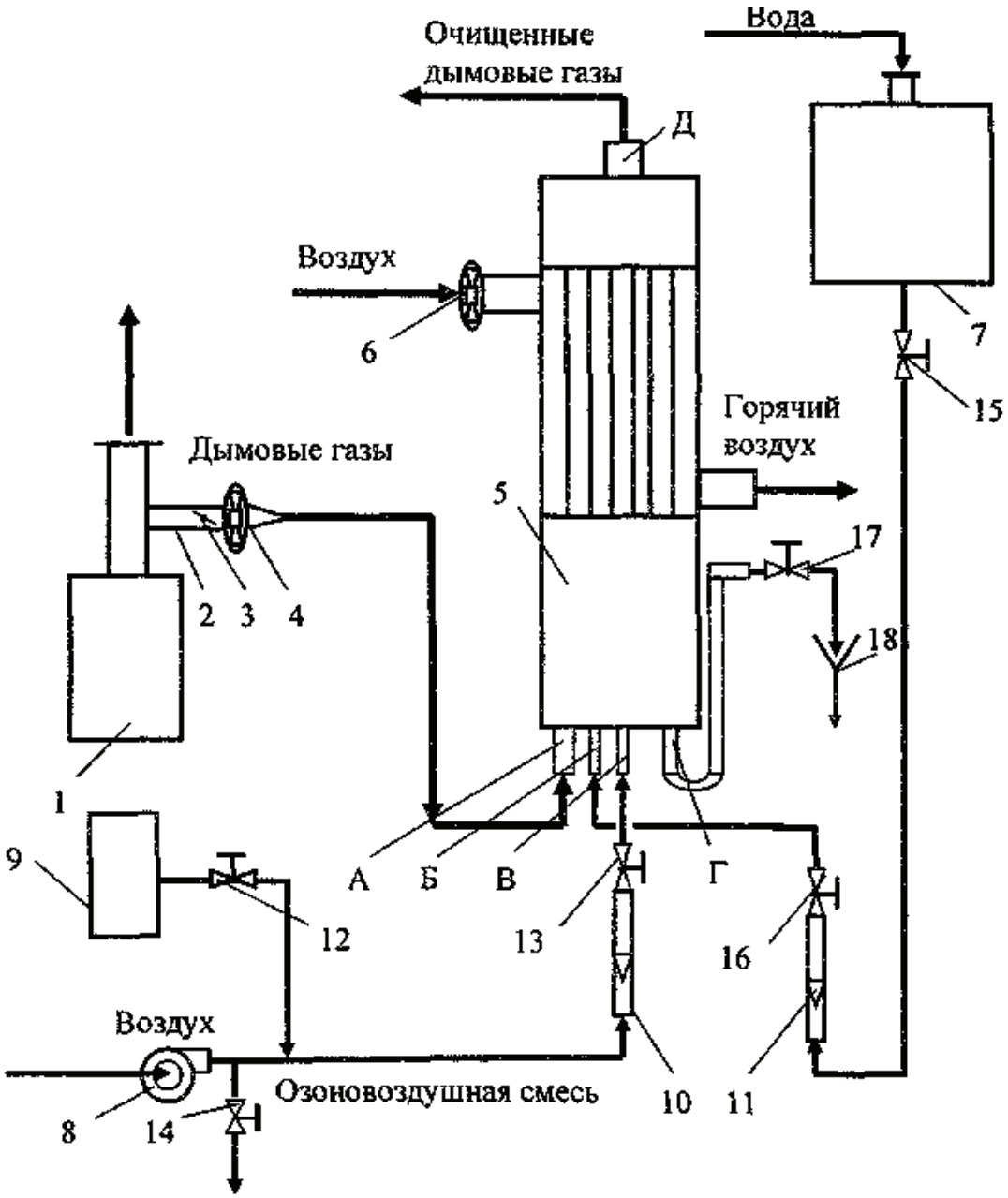


Рис. 1. Схема экспериментального стенда для второй стадии эксперимента для противоточного режима работы пленочной секции: *1* — отопительный котел; *2* — отвод от дымохода; *3* — шибер; *4*, *6* — осевые вентиляторы; *5* — ЭПТА; *7* — напорный бак; *8* — компрессор; *9* — озонатор; *10* — газовый ротаметр; *11* — жидкостной ротаметр; *12–14* – вентили; *15–17* — краны; *18* — дренаж

Опыты проводили при средних расходах абсорбента (воды) $L_{ср} = 3{,}6 \cdot 10^{-5}$ м^3/с и озоно-воздушной смеси, равной $V_{ОВ} = (1{,}5 – 1{,}6) \cdot 10^{-3}$ м^3/с, полученных как среднеарифметическое для оптимального и максимального режимов работы подъемной трубы эмульгационной секции и максимальном расходе газа в трубах пленочной секции (при скорости газа в трубах 5 м/с).

Определение удельного расхода озона и фактора ускорения абсорбции проводили при расходе дымовых газов в диапазоне от $V_Г = 1{,}25 \cdot 10^{-3}$ до $V_Г = 6{,}25 \cdot 10^{-3}$ м^3/с (22,5 м^3/ч). Средняя концентрация азотной кислоты в абсорбенте на выходе из куба ЭПТА равнялась 1 % вес. Время выхода установки на стационарный режим работы ЭПТА равнялось 1,5–2,5 ч. Средняя температура очистки дымовых газов в ЭПТА равнялась 60 °С. Расход воздуха на охлаждение пленочной секции ЭПТА изменяли от 15 до 70 м^3/ч.

По результатам эксперимента построены графики зависимости степени очистки дымовых газов от NO_x, e — от удельного расхода озона (рис. 2).

Степень очистки находили из выражения

$$e = (y_н – y_к) \cdot 100/y_н,$$

где $y_н$ — начальная концентрация NO_x в дымовых газах, г/м^3; $y_к$ — конечная концентрация NO_x в дымовых газах, г/м^3.

Результаты эксперимента показывают, что при увеличении удельного расхода озона более 0,4 г/г эффективность очистки практически не меняется. Характер этой зависимости сохраняется при прямоточном и противоточном движении фаз в пленочной секции ЭПТА (степень очистки при противотоке на 2–3 % меньше, чем при прямотоке, что можно объяснить несколько большим временем контакта озона с дымовыми газами при нем). При средней температуре дымовых газов в ЭПТА, равной приблизительно 60 °С, максимальная степень очистки e = 70–73 %.

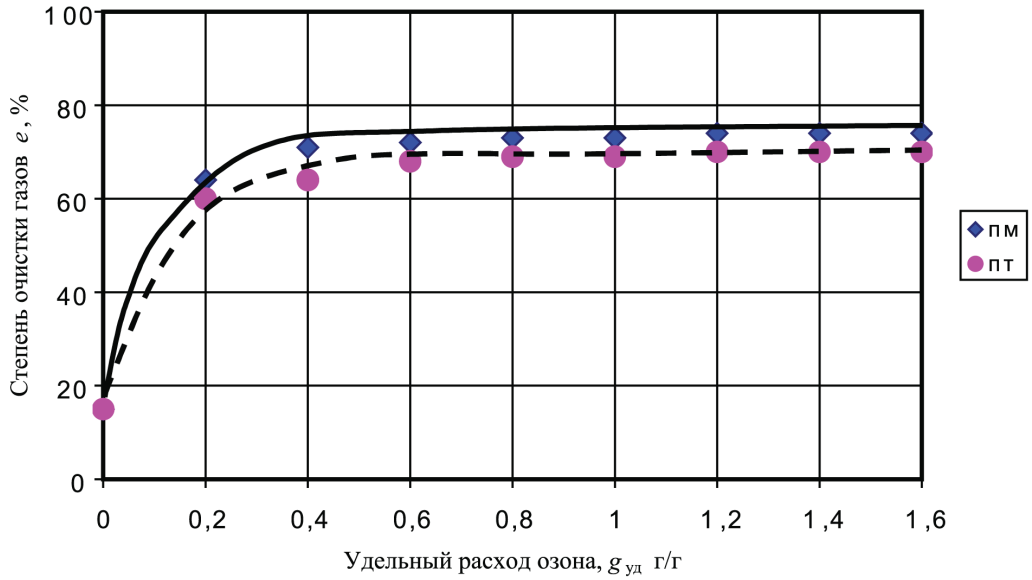


Рис. 2. Зависимость степени очистки дымовых газов от удельного расхода озона:
ПМ — прямоточная работа пленочной секции; ПТ — противоточная работа пленочной секции

Вывод. Зависимости степени очистки реальных дымовых газов от NO_x в ЭПТА от удельного расхода озона показывают, что максимальная степень очистки, равная 70–73 %, достигается при удельном расходе озона 0,3–0,4 г/г. Характер полученной зависимости степени очистки дымовых газов e от удельного расхода озона сохраняется при прямоточном и противоточном движении фаз в пленочной секции ЭПТА (степень очистки при противотоке на 2–3 % меньше, чем при прямотоке).

Список литературы

1. *Ежов В. С.* Снижение вредных газообразных выбросов источников центрального теплоснабжения / В. С. Ежов // Промышленная энергетика. — 2006. — № 12.

2. *Ежов В. С.* Экологичная технология очистки и утилизации газообразных выбросов теплогенерирующих установок / В. С. Ежов // Успехи современного естествознания / Академия естествознания. — 2007. — № 7.

3. *Иванченко А. А.* Техника и технология нейтрализации и в отработавших газах СЭУ: учеб. пособие / А. А. Иванченко. — СПб.: СПГУВК, 2012. — 111 с.

4. *Хачоян М. М.* Исследование эффективности очистки дымовых газов от оксидов азота в присутствии озона / М. М. Хачоян, В. А. Туркин // Сб. науч. тр.: в 2 ч. / отв. ред В. В. Демьянов. — Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2011. — Вып. 16. — Ч. 1.

УДК 532.5:001.5

Е. Ю. Чебан,
канд. техн. наук,
ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБТЕКАНИЯ БОНОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF NUMERICAL SIMULATION OF FLOW AROUND OIL SPILL BOOM

Представлены результаты численного моделирования обтекания элементов бонового ограждения: цилиндра и пластины. Выполнено сравнение результатов буксировочных испытаний и численного моделирования, которое показало хорошее соответствие результатов. Выбраны и обоснованы параметры численного моделирования, оказывающие наибольшее влияние на точность, исследовано влияние изменения этих параметров на результаты вычислительного эксперимента.

This paper provides numerical simulation of flow around oil spill boom's elements. The comparison of towing test results for plate and cylinder with numerical simulation is performed. The numerical results of the resistance force for plate and cylinder show fairly good agreement with the towing test. The most important numerical parameters of modeling were selected and substantiated. The result's effects of their changing were investigated.

Ключевые слова: боновое ограждение, вычислительная гидродинамика, математическое моделирование, буксировочные испытания, опытный бассейн, расчетная сетка, масштаб турбулентности, CFD.

Key words: oil spill boom, computer fluid dynamics CFD, mathematic modeling, test basin, towage tests, computational grid, scale of turbulence, turbulence models.

В НАСТОЯЩЕЕ время для исследования обтекания боновых ограждений и других средств ЛРН, используются как натурные испытания, проводимые в специализированных опытных бассейнах (например, OHMSETT), так и CFD-программы, в основе которых лежат численные методы решения дифференциальных уравнений Навье–Стокса [1, с. 92–96; 2; 3, с. 130–139].

Одной из проблем при численном моделировании гидродинамических явлений является соответствие его результатов данным, полученным в модельных или натурных экспериментах, проведенных в аналогичных условиях.

Большой объем экспериментальных данных по буксировочным испытаниям натурных образцов боновых ограждении в опытном бассейне накоплен OHMSETT. Аналогичные исследования выполнялись и во ВГАВТе. Однако если сравнить обобщенные результаты моделирования, которые по различным данным составляют величины C_x от 1,3 до 1,845, то видны существенные отличия. Разницу в величинах коэффициентов можно объяснить различной конструкцией испытываемых бонов, которые могут иметь, например, различные выступающие части: тросы, крепления, замки и т. д. Поскольку конкретные особенности испытанных конструкций неизвестны, то оценивать точность численного моделирования по этим данным нельзя. Также нет данных по материалам, из которых изготовлены конкретные образцы. Поэтому для сравнения необходимы специально выполненные буксировочные испытания, результаты которых подтверждаются расчетами по хорошо изученным теоретическим закономерностям. Для боновых ограждений такие расчеты невозможны, поэтому одним из вариантов решения этого вопроса может быть сравнение результатов численного моделирования с результатами буксировок простых тел. Для бонового ограждения такими телами могут быть цилиндр и пластина, поскольку в общем случае боновое ограждение состоит из цилиндрической камеры плавучести и прямой юбки, которая может быть представлена пластиной [2; 3].

Для боновых ограждений параметром, который позволяет судить об адекватности численного моделирования, может быть величина силы сопротивления или коэффициент сопротивления. Точность определения силы сопротивления важна еще и потому, что от ее величины зависит выбор способа заякоривания, масса и тип якоря, а также общая прочность конструкции реального бонового ограждения.

В опытном бассейне НГАВТ в 2011 г. А. Красновым [4, с. 16–18; 5, с. 13–15] были выполнены исследования обтекания цилиндра и пластины, расположенной против потока. Результаты этих исследований в виде графиков, показывающих сравнение экспериментальных и расчетных значений силы сопротивления, приведены на рис. 1, 2.

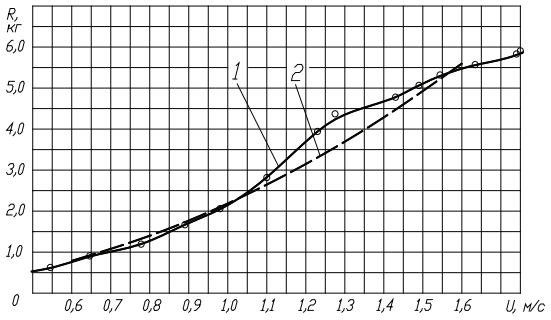


Рис. 1. Кривая сопротивления пластины:
1 — экспериментальная кривая сопротивления;
2 — расчетная кривая сопротивления

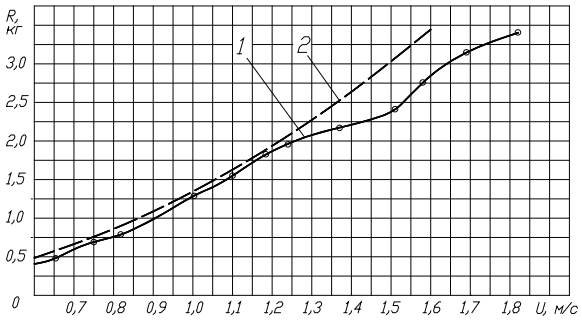


Рис. 2. Кривая сопротивления вертикального кругового цилиндра:
1 — экспериментальная кривая сопротивления;
2 — расчетная кривая сопротивления

Численное моделирование выполнялось с помощью программного комплекса FlowVision российской компании «Тесис».

Твердотельная геометрия расчетной области (рис. 3) пластины и цилиндра была разработана в CAD-системе, в точном соответствии с характеристиками, приведенными в работах [4; 5].

Для моделирования использовалась математическая модель движения вязкой жидкости со свободной поверхностью, состоящая из уравнений движения вязкой жидкости в форме Навье–Стокса, уравнения неразрывности, *k*–ε-модели турбулентности, функции VOF, описывающей форму свободной поверхности жидкости [3; 7; 8, с. 46–54].

В качестве входных условий на передней стенке канала задавались нормальная скорость и начальная степень турбулизации потока. На верхней, нижней и боковых границах канала ус-

танавливалось условие стенки с проскальзыванием. Задняя стенка соответствовала граничному условию выхода. На поверхности пластины и цилиндра было задано условие непротекания с турбулентным пограничным слоем, характеризующимся логарифмическим законом изменения касательной компоненты скорости. Схема расстановки граничных условий приведена на рис. 3.

Из практики использования CFD-программ [7; 8] известно, что на точность численного моделирования наибольшее влияние оказывают размер и «конструкция» расчетной сетки, а также начальная степень турбулизации потока («масштаб турбулентности»). В зависимости от реализованной в той или иной программе моделей турбулентности и способов расчета турбулентных течений выбор этих параметров при моделировании представляет определенные трудности, поскольку масштаб турбулентности, скорость потока и размер ячеек сетки оказываются в той или иной степени зависимы между собой.

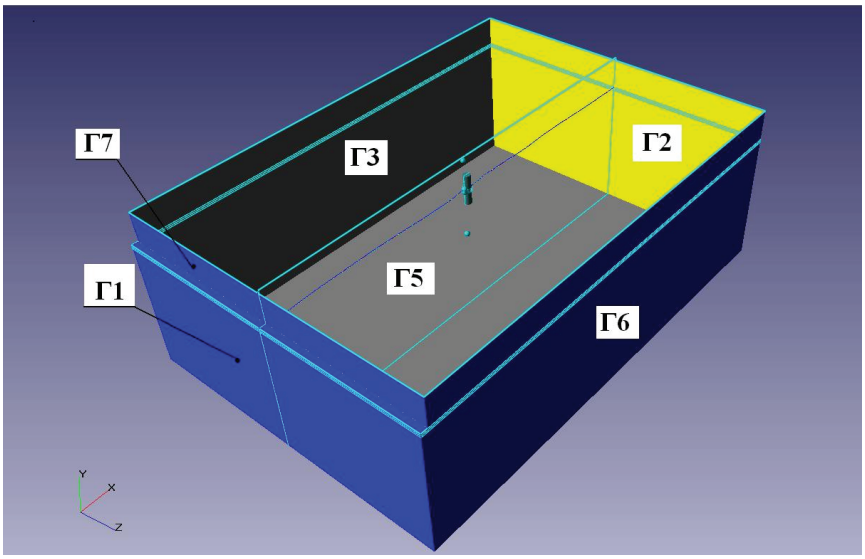


Рис. 3. Расстановка граничных условий на гранях расчетной области

Таблица 1

Типы границ и граничные условия

Грани	Тип границы	Граничное условие
Г1	«вход/выход» inlet/outlet)	Задается нормальная компонента скорости $\upsilon\|_w = \upsilon_{nw}$
Г2	«свободный выход» (free outlet)	Нормальные производные компонент вектора скорости, равные нулю $P\|_w = 0$
Г3, Г5, Г6	«стенка»	На границе области задано условие прилипания $\upsilon\|_w = 0$
Г7	симметрия (symmetry)	Компоненты вектора скорости удовлетворяют *одному* из условий: $\upsilon_i\|_w = 0$, если $n_i \neq 0$ $(\nabla\upsilon_i, n)\|_w = 0$, если $n_i = 0$

Для проверки адекватности моделирования в соответствии с экспериментальными и расчетными результатами изменялись начальный масштаб турбулентности, скорость потока, а также размер и конструкция сетки.

На начальном этапе работы были выполнены пробные расчеты с мелкой сеткой с размером ячеек D/14 и D/28, а также с адаптацией по поверхности цилиндра, в том числе по переменным «давление» и «относительный объем жидкости в ячейке», для более точного описания свободной поверхности в области цилиндра и пластины.

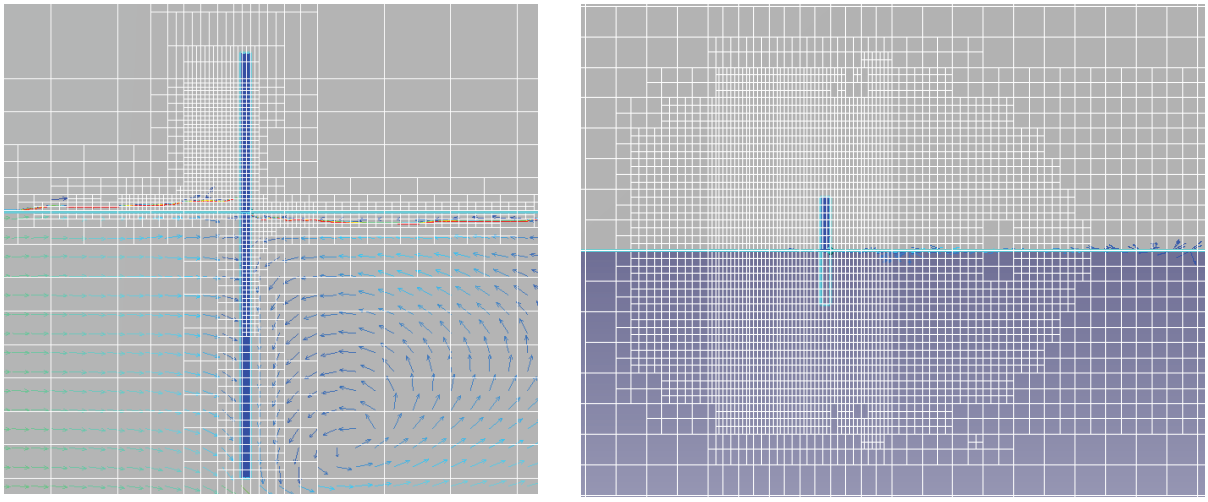


Рис. 4. Расчетная сетка с адаптацией для пластины

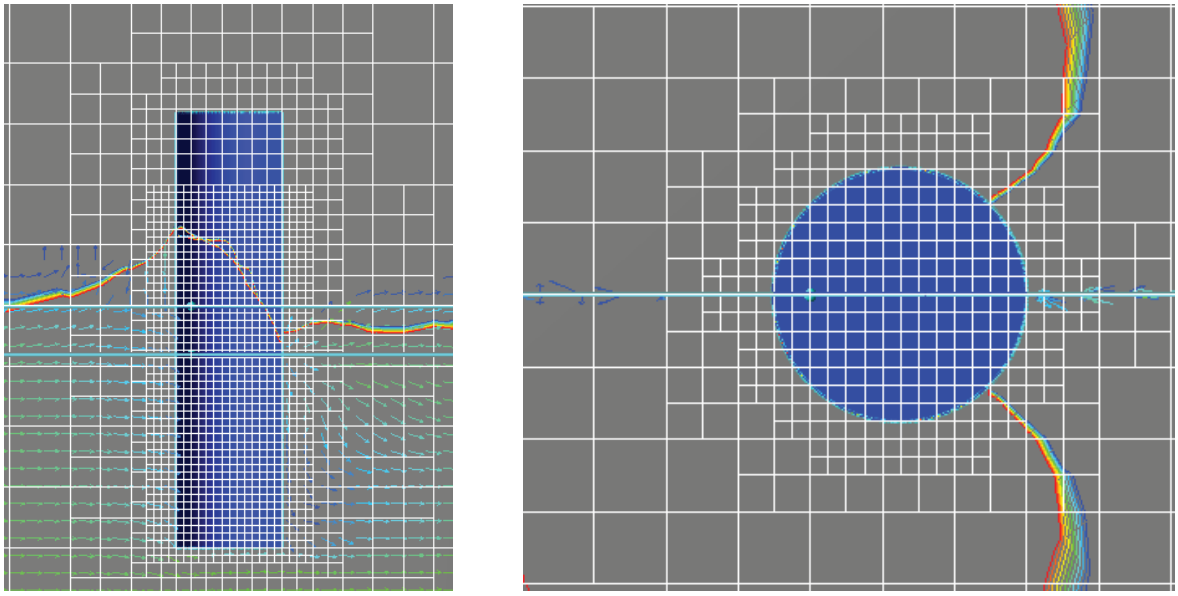


Рис. 5. Один из вариантов расчетной сетки с адаптацией для цилиндра

В ходе пробного моделирования было выяснено, что расчетная сетка на основе местной адаптации по поверхности цилиндра, в отличие от пластины, приводит к крайне неточным результатам, которые отличаются более чем на 50 % от экспериментальных или расчетных, как это видно из рис. 6. Наиболее согласующиеся с экспериментальными данными результаты для пластины были получены при измельчении сетки в районе свободной поверхности. Размер ячейки при этом составил около 4 мм по вертикали.

Результаты моделирования и буксировки для пластины приведены на рис. 7. Из рисунка видно, для масштаба турбулентности 0,1 результаты численного моделирования точно согласуются с расчетными и в области скоростей 1–1,5 м/с, где на экспериментальной кривой наблюдаются существенные отличия.

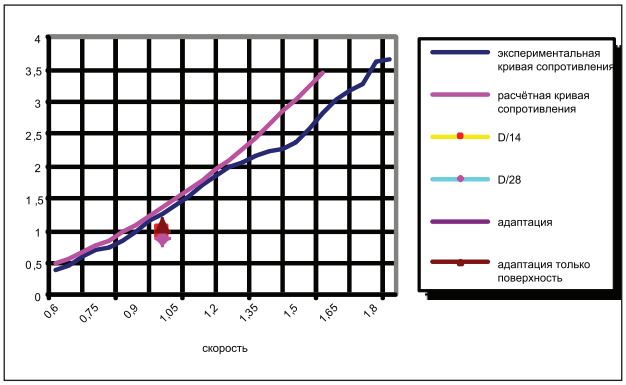


Рис. 6. Результаты пробных численных экспериментов с мелкой сеткой и адаптацией по поверхности цилиндра

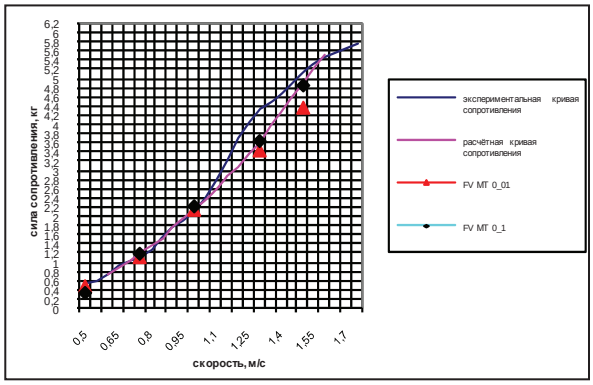


Рис. 7. Сравнение результатов численного моделирования для пластины и буксировок в опытном бассейне НГАВТ

Результаты моделирования обтекания цилиндра с помощью программного комплекса FlowVision в сравнении с буксировками приведены на рис. 6. На рисунке приведены экспериментальная и расчетная кривая сопротивления вместе с точками, полученными при различном размере сетки в виде отношения диаметра цилиндра D к количеству ячеек сетки в поперечном направлении цилиндра. Масштаб турбулентности составлял 0,1 и 0,01 м.

Как видно из рисунка, наиболее приближенные к эксперименту данные получаются при размере ячеек $D/6$ и масштабе турбулентности 0,1 м. Однако при значениях 0,01 и $D/6$ в диапазоне скоростей от 1 до 1,5 м/с значения ближе к экспериментальным результатам. Полученные данные при скоростях 0,75–1 м/с лежат довольно близко как к экспериментальным, так и к расчетным данным, за исключением результатов, полученных при $D/6$ и масштабе 0,01 м, которые при больших скоростях лежат внутри области между обеими кривыми.

При численном моделировании был проверен случай скорости 0,5 м/с, интересующий нас с точки зрения работоспособности боновых ограждений. В работах [1; 2] данных для этой скорости получить не удалось. Как показало численное моделирование, при скорости потока 0,5–0,75 м/с обтекание цилиндра крайне неустойчиво при любом размере сеток и вихрей. Обтекание сопровождается интенсивным срывом вихрей с поверхности цилиндра, которое можно отследить по состоянию свободной поверхности жидкости в расчетной области. Кривые изменения давления с течением модельного времени на поверхности цилиндра носят периодический характер с очень значительной амплитудой. Это позволяет предположить, что унос нефти под боновое ограждение с цилиндрическим поплавком может быть обусловлен не только гидродинамикой двухфазных процессов, но и влиянием отрывных течений при скоростях около 0,5 м/с.

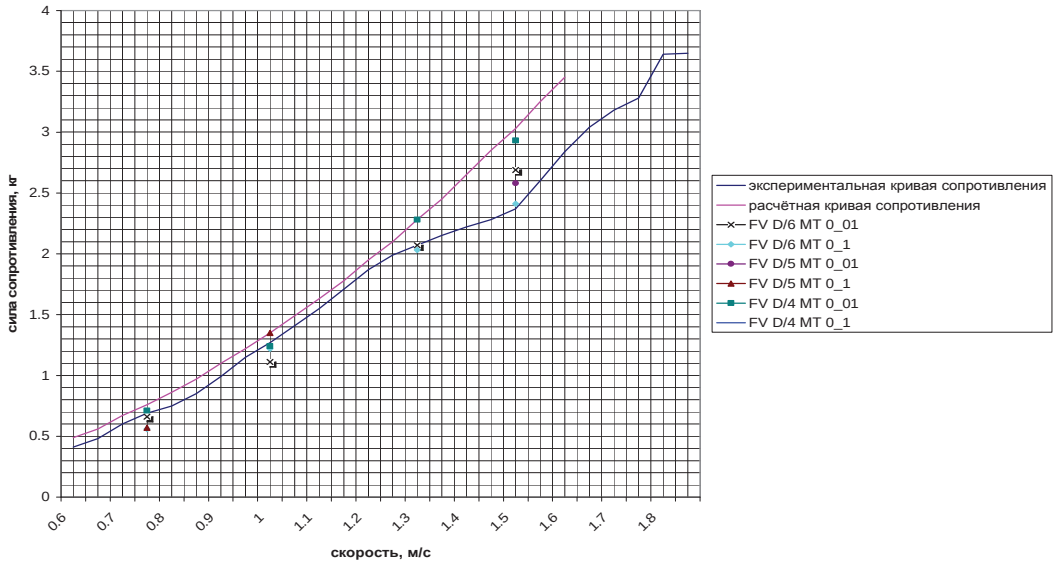


Рис. 8. Сравнение результатов численного моделирования для цилиндра и буксировок в опытном бассейне НГАВТ

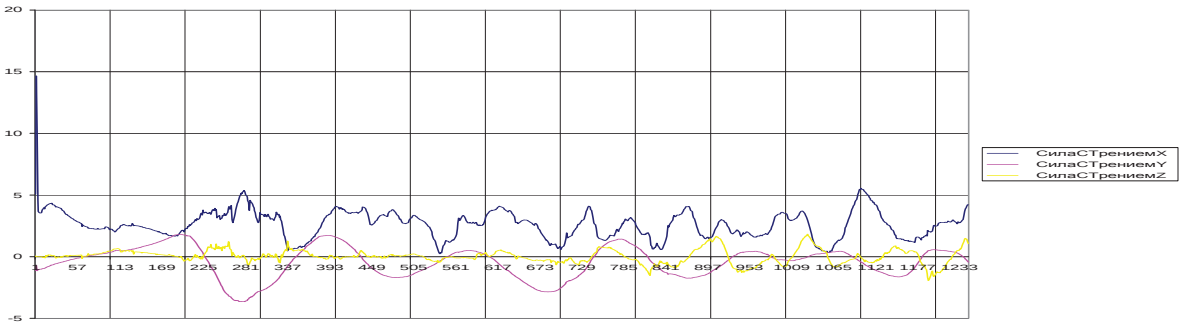
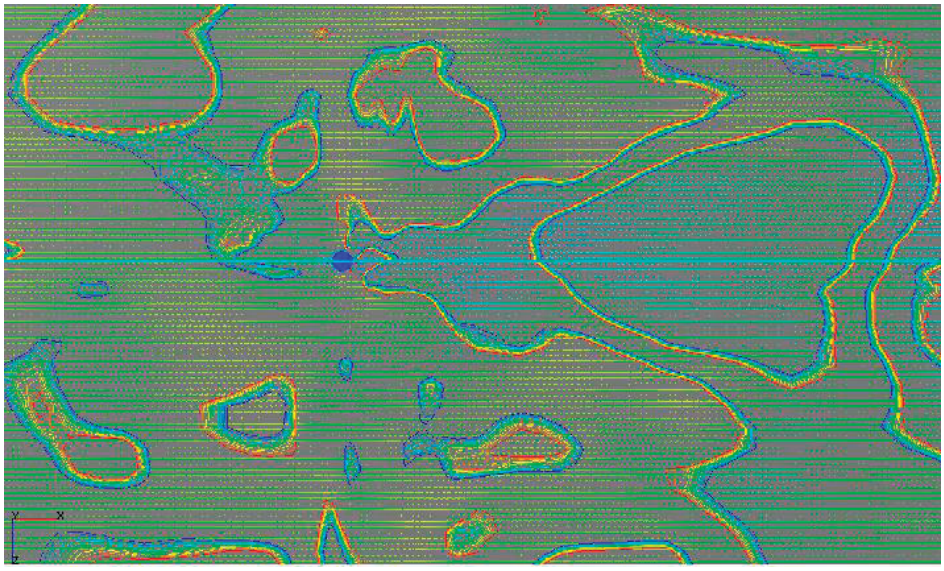
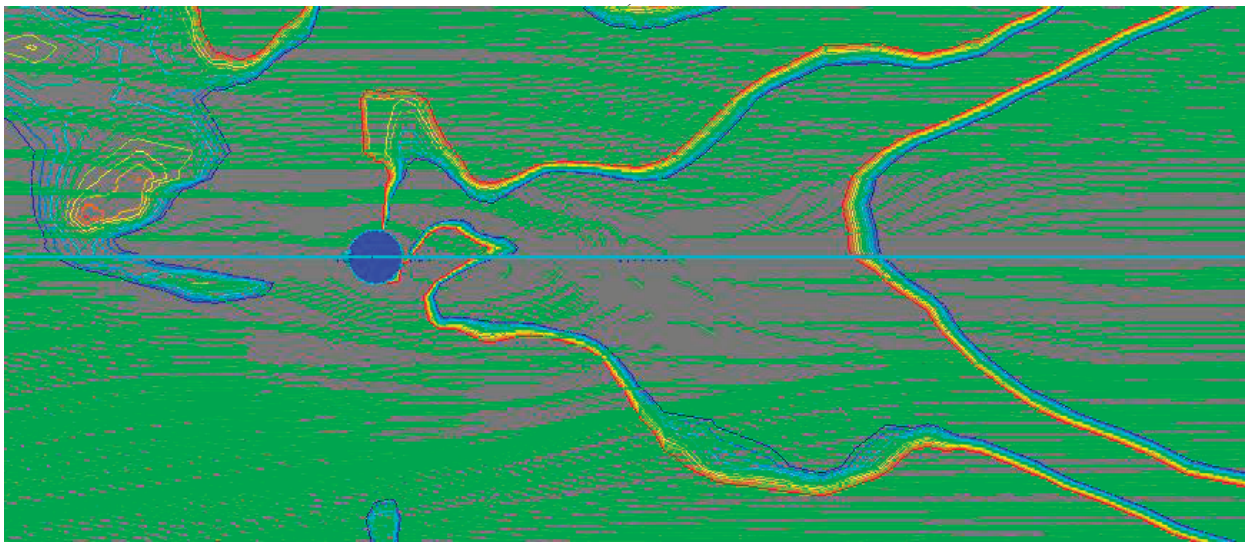


Рис. 9. Изменение давления на поверхности цилиндра с течением времени





б

Рис. 10. Изолинии свободной поверхности (*а*)
и линии тока (*б*) при обтекании цилиндра при скорости 0,5 м/с

Таким образом, по проведенной работе можно сделать следующие выводы:

— с помощью программного комплекса FlowVision может быть достигнута необходимая точность моделирования, что подтверждается экспериментальными и расчетными данными;

— определены начальные масштабы турбулентности и размеры расчетной сетки, при которых обеспечивается достаточная точность результатов численного моделирования;

— полученные данные могут быть использованы при выборе таких параметров численного моделирования, которые позволят получить адекватные результаты и значительно снизить затраты времени на моделирование в дальнейшем.

Список литературы

1. *Чебан Е. Ю.* Использование программного комплекса FlowVision для разработки методики оценки эффективности нефтесборного бонового ограждения / Е. Ю. Чебан // САПР и графика. — М.: КомпьютерПресс, 2007.

2. *Комаровский Д. П.* Взаимодействие нефтяного пятна на поверхности водотока с боновым заграждением / Д. П. Комаровский, В. К. Липский // Природные ресурсы / Академия наук Республики Беларусь. — Минск, 2003. — № 4.

3. *Чебан Е. Ю.* Численное моделирование обтекания нефтесборного бонового ограждения с применением программного комплекса FlowVision / Е. Ю. Чебан // Вестник ВГАВТ: Надежность и ресурс в машиностроении. — Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО ВГАВТ, 2005.

4. *Краснов А. В.* Вихревое сопротивление перпендикулярной к потоку пластины / А. В. Краснов // МОРИНТЕХ–2011. — 2011. — Спецвып. № 2.

5. *Краснов А. В.* Вихревое сопротивление вертикального кругового цилиндра / А. В. Краснов // МОРИНТЕХ–2011. — 2011. — Спецвып. № 2.

6. *Чебан Е. Ю.* Особенности использования различных модулей программного комплекса FlowVision при моделировании обтекания технических средств локализации и ликвидации разливов нефти / Е. Ю. Чебан, М. Л. Смирнова // Инженерные системы–2009: тр. Всерос. науч.-практ. конф. Сер. «Прикладные исследования в механике». — М.: Изд-во МФТИ, 2009. — Т. 1. — С. 81.

7. *Aksenov A.* Numerical Simulation of Water Flow around Ship with Screw Propeller / A. Aksenov, V. Pokhilko, A. Dyadkin // Proceedings of ASME PVP, COMPUTATIONAL TECHNOLOGY (CFD), July 22–26, 2001. Hyatt Regency. — Atlanta, Georgia, USA, 2001.

8. *Печенюк А. В.* Моделирование буксировочных испытаний перспективного контейнеровоза KRISO при помощи комплекса гидродинамического анализа Flow Vision / А. В. Печенюк // Инженерные системы–2005: тр. конф. Сер. «Прикладные исследования в механике». — М.: МФТИ, 2005.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ

УДК 656.7.003:658.012

А. А. Богданов,
д-р техн. наук, профессор,
Санкт-Петербургский государственный
университет гражданской авиации;

Л. П. Паристова,
канд. экон. наук, доцент,
Санкт-Петербургский государственный
университет гражданской авиации;

Т. А. Тихомирова,
доцент,
Санкт-Петербургский государственный
университет гражданской авиации

ЦЕНТР ОТВЕТСТВЕННОСТИ КАК КОМПОНЕНТА ФИНАНСОВОЙ ЛОГИСТИКИ АВИАПРЕДПРИЯТИЯ

CENTER OF FINANCIAL RESPONSIBILITY AS ELEMENT OF FINANCIAL LOGISTICS OF THE AIRLINE ENTERPRISE

В статье рассмотрены задачи постановки системы бюджетирования на авиапредприятии. Рассмотрены вопросы выделения центров финансовой ответственности в рамках формирования финансовой структуры предприятия.

In the article problems of statement of system of budgeting on aviation enterprise are considered. The article considers the questions of allocation of the centers of financial responsibility within the limits of formation of financial structure of the enterprise.

Ключевые слова: управление затратами, бюджетирование, центр финансовой ответственности.
Key words: management of cost, budgeting, center of financial responsibility.

В ПОСЛЕДНИЕ годы управление транспортными процессами все в большей степени ориентируется на международные стандарты и методы интегрированной логистики. Аэропорты представляют собой стратегически важную мультимодальную транспортную сеть, взаимодействующую с международными транспортными коридорами, грузоотправителями и грузополучателями. Новые возможности, предоставляемые логистикой, приводят к дальнейшему расширению сервиса в сфере взаимодействия участников инфраструктуры аэропортов, повышению эффективности на основе консолидации ресурсов.

В течение многих лет в исследованиях и деловой практике РФ по созданию и функционированию логистических систем (как на транспорте, так и в промышленности) преобладали подходы, ориентированные преимущественно на функции управления и инженерную составляющую. В этом случае основное внимание уделялось аппаратно-технологическим вопросам разработки и эксплуатации информационно-вычислительных систем. Проблема эффективности информационного обеспечения логистики в целом ряде случаев сводилась к выбору программного обеспечения, управлению функциями системы (функциональности), анализу и моделированию бизнес-процессов.

В большинстве существующих определений логистики отсутствует четкое определение финансовой логистики. Не случайно поэтому движение финансовых ресурсов многими рассматривается только как сопутствующее материальному потоку. Хотя совершенно очевидно, что движение финансов ресурсовых является серьезным ограничителем выгод предприятия и активным «рыча-

гом» управления материальными потоками. Возможно, именно поэтому до сих пор не выработаны показатели оценки эффективности финансовых потоков. Попытки ряда экономистов свести их к классическим показателям финансового менеджмента совершенно не обоснованы. Что касается финансовой логистики (или логистики финансовых потоков), то это понятие более узкое, чем финансовый менеджмент, и представляет собой комплекс методов, средств, инструментов, направленных на повышение эффективности финансовых потоков.

В современных условиях повышение эффективности производства и реализации продукции определяет необходимость выделения и изучения логистики финансовых потоков. Финансовые потоки возникают при осуществлении расходов на потребляемые в процессе производства и реализации материальные, трудовые и прочие ресурсы, а также расходов, связанных с инвестиционной и финансовой деятельностью предприятия, при различных источниках финансирования, при возмещении (в денежном эквиваленте) за реализованную продукцию и оказанные услуги участникам логистической цепи.

Переход к рыночным отношениям, расширение масштабов хозяйственной деятельности, возросшая потребность в усилении всех видов взаимосвязей в процессах управления финансовыми потоками, порожденными сбытовыми товарными потоками, обусловили основные требования к новым формам и методам повышения эффективности управления деятельности предприятий, увеличения результативности их деятельности, улучшения финансового состояния организаций. Использование логистических принципов и методов в управлении финансовыми потоками предприятия позволят по-новому подойти к решению традиционных задач.

С развитием финансового и стратегического планирования транспортные предприятия столкнулись с рядом проблем. Основной из них является составление финансового плана, включающего в себя сеть подпланов, которые представляют собой совокупность отдельно взятых разработок каждого из структурных подразделений и дальнейший контроль их исполнения.

Процесс специфического подхода к организации управления хозяйственно-финансовой деятельностью предприятия в комплексе путем взаимодействия всех подразделений получил название «бюджетирование».

Мировая практика развития рыночных отношений характеризуется тенденцией к организации структуры крупных компаний не по традиционному функциональному признаку (маркетинг, финансы, снабжение, производство, сбыт), а по линиям продукции, каждая из которых группируется вокруг производства определенного типа продуктов или услуг и включает в себя необходимые функциональные службы.

Эта тенденция обособила понятие «сегмент бизнеса» (части организации, работающие на внешнего потребителя, или внутренние подразделения, находящиеся на самостоятельном балансе). Кроме того, структурными единицами компании могут быть отделения, филиалы (внутренние единицы высокого уровня) и подразделения (единицы более низких уровней) [1].

Децентрализация управления требует формализованного подхода к организационной структуре: определения места каждой структурной единицы, делегирования (передачи) ей определенных полномочий и ответственности. В соответствии с этим появилось обобщающее понятие **«центр ответственности»** и организационную структуру можно рассматривать как совокупность центров ответственности, связанных между собой линиями ответственности.

Разработка качественной системы управления в настоящее время актуальна для многих предприятий, в частности для предприятий воздушного транспорта, отличающихся зависимостью от платежеспособного спроса населения, высокой себестоимостью авиаперевозок, наличием значительного операционного риска у основных участников авиатранспортного производства — авиакомпаний, аэропортов, предприятий по аэронавигационному обслуживанию. Аэропортовые услуги носят монопольный характер, уровень сборов и тарифов на их услуги подлежит государственному регулированию, а эффективность их деятельности (в первую очередь прибыльность и рентабельность) во многом зависит от эффективности управления всеми видами ресурсов в рамках каждого структурного подразделения предприятия.

В рамках центров ответственности можно оценить вклад каждого подразделения в конечные результаты деятельности предприятия, децентрализовать управление затратами, а также следить за формированием этих затрат на всех уровнях управления, что в целом существенно повышает экономическую эффективность деятельности участников перевозочного процесса.

В последние годы в рамках постановки системы управленческого учета на предприятиях центры ответственности часто стали заменять понятием «центр финансовой ответственности». **Центр финансовой ответственности** — это структурное подразделение, занимающееся оптимизацией прибыли, поиском способов непосредственного воздействия на прибыльность, контролем уровня расходов в пределах установленных лимитов, поиском путей снижения затрат.

Центры финансовой ответственности рассматривают как элемент **финансовой структуры** компании, который выполняет хозяйственные операции в соответствии со своим бюджетом и обладает для этого необходимыми ресурсами и полномочиями. Это доказывает тот факт, что финансовая и организационная структуры предприятия тесно связаны, но могут и не совпадать. Каждый бюджетный период начинается с актуализации финансовой структуры с целью корректного распределения полномочий и ответственности. Часто изменение финансовой структуры приводит к изменениям в организационной структуре.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что центры финансовой ответственности идентичны центрам ответственности только в несколько более узком смысле, так как рассматривают в основном такое направление управленческого учета, как бюджетирование [2].

Центр финансовой ответственности отвечает только за те затраты, на которые могут оказать влияние его руководители. Управленческий учет ведется по тем затратам и результатам хозяйственной деятельности, которые напрямую зависят от выделенных руководителем полномочий с обязательным отражением деятельности по каждому центру финансовой ответственности каждой хозяйственной операции.

В то же время выделение центров финансовой ответственности продиктовано необходимостью регулирования затрат и конечных финансовых результатов на основе оценочных показателей, ответственность за которые несут руководители структурных подразделений предприятия.

Формирование системы управления по центрам финансовой ответственности включает в себя несколько этапов. В общем виде алгоритм формирования системы управления по центрам финансовой ответственности может выглядеть следующим образом:

— на первом этапе определяется основное направление хозяйственной деятельности транспортной организации, тип ее организационной структуры и проводится анализ производственной деятельности с выделением центров, отвечающих за технологию производственного процесса;

— на втором этапе проводится анализ затрат, выручки и прибыли компании и выделяются центры финансовой ответственности, определяется их статус и регламент взаимодействия;

— на третьем этапе для каждого центра создается перечень отчетности и оценочные показатели эффективности его работы, устанавливаются права и обязанности, внутреннее положение.

В зависимости от выполняемых задач и функций центры финансовой ответственности могут быть основными, связанными с предоставлением услуг, и вспомогательными, связанными с обслуживанием производства.

Кроме того, существует подход к классификации центров финансовой ответственности, подобный делению центров ответственности (см. табл. 1) [2].

Таблица 1

Типы центров финансовой ответственности

Тип центра	Задачи центра	Стратегия	Оценочные показатели
Центр инвестиций	Управляет внеоборотным и оборотным капиталом, осуществляет инвестиции	Поиск и распределение инвестиций, анализ окупаемости инвестиций	Объем инвестиций, срок окупаемости инвестиций и т. п.

Таблица 1
(*Окончание*)

Центр прибыли	Отвечает за сумму «заработанной» прибыли	Максимизация прибыли	Чистая прибыль
Центр маржинального дохода	Несет ответственность за приносимый маржинальный доход	Увеличение дохода, экономия переменных затрат	Доход, переменные затраты
Центр дохода	Отвечает за доход, который приносит организации в процессе своей деятельности	Увеличение дохода	Доход, объем продаж, цена
Центр затрат	Отвечает только за произведенные затраты	Экономия затрат	Постоянные и переменные затраты

Если при выделении центров доходов и затрат предприятия успешно справляются, то при формировании центров других типов руководство может допускать ряд ошибок.

В погоне за модными тенденциями ряд предприятий выделяют в составе центров финансовой ответственности центр маржинального дохода. Такой центр целесообразно выделять, если на предприятии есть подразделения, осуществляющие более сложный вид деятельности — не одно производство (центры затрат), и не одну торговлю (как центры дохода), а производство и реализацию продукции разнообразной номенклатуры, то есть фактически являются отдельными бизнес-направлениями (бизнесами). Рекомендуется создавать центр маржинального дохода как минимум из одного центра дохода и центра затрат [3]. Так, возможно создание консолидирующего центра маржинального дохода (продажи) на основании нескольких центров доходов (например, по направлениям оказания услуг аэропорта или по регулярным и чартерным направлениям при продаже перевозок у авиакомпании).

Следуя иерархии финансовой структуры, центром, управляющим итоговым финансовым результатом деятельности компании, является центр прибыли. Центры прибыли отвечают перед руководством суммой заработанной прибыли, то есть они по аналогии с центрами маржинального дохода контролируют как расходную, так и доходную сторону своей деятельности. Но центры прибыли рассчитывают доходы и затраты не отдельного направления, а всего предприятия в целом. Соответственно центром прибыли выступает предприятие, как самостоятельное, так и в составе многоуровневой структуры, например холдинга.

Центр прибыли может состоять как минимум из одного центра затрат и одного центра доходов, в таких случаях не создается центр маржинального дохода.

Центры инвестиций являются верхним уровнем финансовой структуры. Они имеют право управлять не только оборотным капиталом, то есть отвечать за объем заработанной прибыли, но и управлять внеоборотными активами (основными средствами), в том числе осуществлять инвестиции. Например, поменять устаревшее оборудование или произвести модернизацию, а в больших масштабах купить фирму, продать бизнес и т. д. В этом случае центр инвестиций контролирует окупаемость этих инвестиций и таким образом отвечает за рентабельность всех активов фирмы. Центр инвестиций — это всегда только предприятие, либо самостоятельное, либо многоуровневая структура с головной компанией. Центр инвестиций должен состоять как минимум из одного центра прибыли. Центр инвестиций отвечает непосредственно за распределение инвестиционных ресурсов, а не за выплату денежных средств на инвестиционную деятельность.

Таким образом, управление предприятием через центры финансовой ответственности — это инструмент для тех, кто хочет оперативно управлять бизнесом и воздействовать на него, а также иметь системное представление о направлениях и темпах развития предприятия; понимать, за счет чего стало возможным достижение результата, кто реально приложил к этому усилия; знать, какое звено предприятия тормозит движение; определять наиболее эффективные подразделения

компании, воздействуя на которые можно добиться максимального эффекта и достичь качественно новых результатов.

В последнее время большое значение в управлении затратами имеет и система контроля по центрам финансовой ответственности, которая обеспечивает полноту и правильность действий в будущем, направленных на снижение затрат и рост эффективности производства.

Список литературы

1. *Виткалова А. П.* Бюджетирование и контроль затрат в организации: учеб.-практ. пособие / А. П. Виткалова, Д. П. Миллер. — М.: ИТК «Дашков и К°», 2012. — 124 с.

2. *Костромина Д. В.* Управление затратами и прибылью предприятия на основе организации центров финансовой ответственности / Д. В. Костромина [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: http://www.referent.mubint.ru (официальный сайт компании «Референт»).

3. Официальный сайт компании «Бизнес-класс»: http://www.class.ru (раздел «Финансы и учет для руководителей»).

УДК 338.398

А. Н. Голубцов,
д-р экон. наук, профессор,
Нижегородский институт управления;

В. Л. Зюзин,
д-р техн. наук, профессор,
ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»;

И. Г. Сулейманов,
канд. техн. наук, доцент,
Московский институт права
(Нижегородский филиал)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕГИОНА

ENHANCING THE EFFICIENCY OF WORK OF PASSENGER TRANSPORT ENTERPRISES OF THE REGION

Статья содержит методические положения по определению эффективности работы пассажирских транспортных предприятий региона или муниципального образования на основе расчета и прогнозирования объема перевозок пассажиров для обеспечения уровня их безубыточности (на примере пассажирских предприятий внутреннего водного транспорта региона).

The article contains methodical regulations on determining the effectiveness of the work of passenger transport enterprises of the region or of the municipal formation on the basis of the calculation and forecast of the volume of transportations of passengers to ensure their level of break-even (on the example of the passenger enterprises of inland water transport in the region).

Ключевые слова: пассажирские транспортные предприятия, эффективность работы, уровень безубыточности, прогнозирование, объем перевозок пассажиров, методы обоснования.

Key words: passenger transport enterprises, the effectiveness of the work, the break-even level, forecasting, the volume of passenger transportation, methods of substantiation.

ОРГАНИЗАЦИЯ, планирование и управление пассажирскими транспортными предприятиями в современных условиях имеют свои особенности, присущие рыночной экономике, это прежде всего конкуренция и конкурентоспособность объекта управления.

Уровень конкурентоспособности выявляет все преимущества и недостатки организации, планирования и управления деятельностью транспортной компании, а также профессионализм руководства, квалификацию производственно-вспомогательного персонала и ведущих специалистов.

Конкуренция требует максимальной отдачи всего персонала по всей цепочке производственного процесса деятельности транспортной компании, то есть во всех подсистемах системы управления. При низком уровне конкурентоспособности судоходная компания рискует обанкротиться. Добиться повышения конкурентоспособности без наличия профессионального опыта — не простая задача, еще труднее удержать достигнутый уровень, динамично наращивая при этом свои позиции на рынке транспортных услуг. Для этого необходимо: постоянно проводить маркетинговый анализ и исследования рынка, мониторинг конкурентных возможностей на рынке транспортных услуг, политики формирования тарифов на транспортные услуги; привлекать большее количество пассажиров за счет повышения качества сервисного обслуживания, снижения стоимости проезда и других мероприятий.

Некоторые транспортные предприятия имеют необоснованно завышенное количество непроизводственного персонала, которое отражается на всей финансово-производственной деятельности предприятия. В связи с этим для оптимизации организационной структуры управления целесообразно использовать метод *функционально-стоимостного анализа* (ФСА), который успешно применяется для определения полезного эффекта деятельности объекта на единицу совокупных затрат за весь его жизненный цикл. Корректно используя метод ФСА, можно найти оптимальное решение по структуре и численности управленческого персонала, а также подобрать профессионально подготовленные кадры по всем функциональным направлениям деятельности предприятия.

В современных условиях деятельности транспортных компаний на перевозках пассажиров основными факторами, составляющими их конкурентоспособность, являются стоимость проезда, время в пути и др.

Для разработки и принятия эффективных управленческих решений в транспортной фирме большую роль играет маржинальный анализ, аналитика которого базируется на исследовании соотношений: затраты–объем производства; прибыль, а также прогнозирование каждого их этих трех показателей на перспективу [3]. В современной теории анализа хозяйственной деятельности рассматриваемый метод получил название «анализ безубыточности».

Применительно к нашей проблеме маржинальный анализ можно использовать, если общие затраты на содержание управленческого персонала и эксплуатацию транспортных средств представить в двух частях: постоянной (A) и переменной (B), то есть

$$S_{общ} = A + B, \quad (1)$$

причем переменные затраты B прямо пропорционально зависят от численности перевозок пассажиров M и переменных затрат на одного пассажира b, то есть

$$B = M \cdot b. \quad (2)$$

Рассмотрим пример обоснования безубыточной эксплуатации скоростного флота на внутреннем водном транспорте Нижегородской области (расстояние 300 км) с использованием следующих исходных данных (табл. 1).

Таблица 1

Исходные данные

№ п/п	Наименование показателей	Условное обозначение		Суммарные затраты
1	Объем пассажирских перевозок	M	чел.	67 730
2	Стоимость проезда	Ц	руб.	970
3	Доход (нетто)	D	тыс. руб.	65 698
4	Постоянные затраты	A	тыс. руб.	13 134
5	Переменные затраты на одного пассажира	b	руб.	608
6	Переменные затраты	B	тыс. руб.	41 180 тыс. руб.
7	Маржинальный доход ($MD = D - B$)	MD	тыс. руб.	24 518 тыс. руб.
8	Доля маржинального дохода в общих доходах	d_{MD}	—	0,373

1. Безубыточный объем перевозок:

$$M_{кр} = \frac{A}{Ц - b} = \frac{13\,134}{970 - 608} = 36\,282 \text{ чел.}$$

2. Безубыточный объем перевозок пассажиров в финансовом выражении (доход от перевозок пассажиров):

$$D_{кр} = \frac{A}{d_{MD}} = \frac{13134}{0{,}373} = 35\,212 \text{ тыс. руб.}$$

3. Критическая сумма постоянных затрат:

$$A_{кр} = M \cdot (Ц - b) = 67\,730(970 - 608) = 24\,518{,}3 \text{ тыс. руб.}$$

4. Критический уровень переменных затрат на одного пассажира:

$$b_{кр} = Ц - \frac{A}{M} = 970 - \frac{13\,134}{67\,730} = 776 \text{ руб.}$$

5. Критический уровень стоимости проезда:

$$Ц_{кр} = \frac{A}{M} + b = \frac{13\,134}{67\,730} + 608 = 802 \text{ руб.}$$

6. Маржинальная прибыль:

$$П = M(Ц - b) - A = 67\,730(970 - 608) - 13\,134 = 11\,384{,}3 \text{ тыс. руб.}$$

Расчеты, проведенные на базе приведенных данных (табл. 1), показывают:

1) для обеспечения безубыточности эксплуатации флота численность пассажиропотока должна быть не менее 36 282 чел. за расчетный период. В нашем случае этот показатель составляет 67 730 чел., следовательно, имеется достаточный резерв для обеспечения судоходной фирмы значительной прибылью, которая по расчетным данным составляет 11 384,3 тыс. руб. Следует отметить, что математический аппарат маржинального анализа позволяет прогнозировать объем перевозок пассажиров при заданном размере прибыли. Так, если фирма запланировала получить определенную сумму прибыли, например 2500 тыс. руб., то для этого необходимо перевезти пассажиров в количестве:

$$M = \frac{A + П}{Ц - b} = \frac{13\,134\,000 + 2\,500\,000}{970 - 608} = \frac{15\,634\,000}{362} = 43\,188 \text{ чел.}$$

Следовательно, маркетинговая группа и руководство транспортной фирмы должны принять все меры для обеспечения выполнения дополнительного объема перевозок пассажиров в количестве 43 188 – 36 282 = 6906 чел. Полученный объемом перевозок в 1,2 раза больше, чем безубыточный объем перевозок пассажиров (43 188/36 282). При этом 36 282 чел. нужно перевезти, чтобы покрыть постоянные затраты, и дополнительно 6906 чел. для получения 2500 тыс. руб. прибыли, то есть П = 6906(970 – 608) = 2500 тыс. руб.;

2) критическая сумма постоянных затрат должна быть не выше 24 518,3 тыс. руб., в противном случае судоходная фирма будет убыточной, так как она не сможет покрыть эти затраты за счет своих доходов, то есть маржи покрытия, которая определяется путем вычитания из доходов фирмы суммы переменных затрат;

3) анализируя расчетные данные критических уровней переменных затрат на одного пассажира и стоимости проезда на судне, можно обнаружить следующие соотношения: $b_{кр} \leq 776$ руб. и $Ц_{кр} \geq 802$ руб. Первое неравенство указывает на то, что переменные затраты на одного пассажира не должны быть выше указанной суммы, иначе маржинальный доход не будет обеспечивать покрытие постоянных затрат, что означает убыточность работы предприятия.

Анализ второго неравенства показывает, что стоимость проезда не должна быть меньше указанного уровня, иначе судоходная компания будет в убытке, так как сумма доходов от перевозок пассажиров не будет покрывать сумму постоянных и переменных затрат.

Определим зону финансовой безопасности (ЗБ) судоходной компании по следующей формуле:

$$ЗБ = \frac{D - D_{кр}}{D} = \frac{65\,672 - 35\,212}{65\,672} = 0{,}464, \text{ или } 46{,}4\ \%.$$

На основе этих расчетов можно сделать вывод, что при использовании изложенной концепции появляется возможность решать рассматриваемую проблему с применением маркетингового, инновационного, логистического и других научных подходов.

Вместе с тем рассмотренный методический подход может быть использован при разработке бизнес-плана или программы работы компании в инновационных исследованиях. Для успешной реализации предлагаемой методики в управлении пассажирским транспортом региона необходимо иметь прогнозные значения объема перевозок пассажиров на перспективу в натуральном и финансовом (Д) выражениях.

В современных условиях проблема прогнозирования объема перевозок на транспорте региона с использованием инновационных транспортных средств представляет определенную сложность. Она заключается в том, что в последние годы перевозки пассажиров, например на скоростных судах внутреннего водного транспорта, практически не осуществлялись. Основные причины этого заключаются в следующем:

1) скоростные суда стали неконкурентоспособными на рынке транспортных услуг из-за разрушения единой системы речных пароходств и перевода их в новую форму собственности;

2) высокая стоимость содержания в эксплуатации скоростных транспортных средств, что привело к снижению их конкурентоспособности по стоимости проезда;

3) судостроительные предприятия перестали получать госзаказы на строительство инновационных транспортных средств, а частные инвесторы их не заказывают из-за значительных рисков;

4) оставшиеся в эксплуатации скоростные транспортные средства постепенно поставлены на холодный отстой или подверглись утилизации ввиду их невостребованности.

В создавшейся ситуации решение данной проблемы является достаточно сложным. Основная трудность, на наш взгляд, состоит в том, что создание и строительство конкурентоспособных

на рынке скоростных транспортных средств в ближайшее время не представляется реальным, исходя из их низкой рентабельности. Государственный и частный капитал в настоящее время не рискуют инвестировать эту сферу услуг, так как проектные организации из-за финансовых трудностей не в состоянии выполнить и представить потребительскому рынку отвечающие современным требованиям проектные разработки перспективных, конкурентоспособных транспортных средств. В-третьих, для того чтобы проводить проектные разработки в этом направлении, необходимо выполнить фундаментальные маркетинговые, инновационные и другие исследования, которые не требуют соответствующих финансовых затрат.

Одним из возможных вариантов решения названной проблемы, на наш взгляд, является финансирование проектных разработок региональным правительством из бюджета региона [1].

Данная работа посвящена решению задачи по формированию методического аппарата прогнозирования показателя «Объем перевозок пассажиров транспортом региона», который является одним из основных параметров экономического обоснования в маркетинговых исследованиях деятельности как отдельных транспортных компаний, так и системы в целом. Известно, что конкурентоспособность предприятий пассажирского транспорта имеет высокую зависимость от объема перевозок пассажиров и стоимости проезда, которая в структурной модели конкурентоспособности имеет весомость 4 балла из 10. Следовательно, путем регулирования в регионе уровня этого параметра можно привлекать внимание реальных и потенциальных пассажиров, чтобы стоимость проезда была доступной широким слоям населения, в том числе пенсионерам, садоводам и другим категориям населения. В современных условиях четко обозначились высокодоходные (ВД), среднедоходные (СД) и низкодоходные (НД) слои населения.

При высокой стоимости проезда (Ц1) этот вид транспорта доступен только высокодоходным слоям населения, однако, по статистическим данным, эта категория населения составляет всего от 7 до 10 %. Следовательно, прибыль, получаемая судоходной компанией, будет незначительной. При снижении стоимости проезда до уровня (Ц2) этот вид транспорта будет доступным уже среднедоходным слоям населения, следовательно, и прибыль СК будет выше.

Во всех экономически развитых странах, таких как Англия, США, Канада и других, низкодоходные слои населения находятся на частичной государственной или частнокапиталистической дотациях. Рентабельность услуг, оказываемых этим слоям населения пассажирскими предприятиями речного транспорта, может оказаться на очень низком уровне. Указанная дотационная система применяется и в российских условиях, например на железнодорожном и автомобильном видах транспорта в весенне-осенний и летний периоды.

Изложенный подход открывает определенную возможность экономического обоснования тарифов, исходя из теории определения безубыточности оказываемых услуг пассажирскими транспортными фирмами.

Рассмотрим методический аппарат прогнозирования объема пассажирских перевозок, например скоростным флотом ВВТ региона. Для этого необходимо установить путем статистических исследований или по отчетным данным достигнутый уровень численности перевозок пассажиров (M_0) на определенный базовый период (с учетом рассмотренных параметров и факторов конкурентоспособности вида транспорта). Для прогнозирования объема перевозок пассажиров предлагается индексная мультипликативная модель (ИММ) [3] с учетом следующих факторов: например, стоимости, безопасности, качества сервиса, доступности, общего прироста населения, индексации номинального дохода населения и т. д.:

$$M_1 = M_0 \left[\left(\frac{1}{i_{СП}} \cdot i_{БП} \cdot i_{КС} \cdot i_{ДТ} \right) \cdot i_{НС} \cdot i_{НД} \right], \qquad (3)$$

где M_1 — прогнозное значение объема перевозок, чел.;

M_0 — объем перевозок пассажиров в базовом периоде, чел.;

$i_{СП}$ — индекс, характеризующий динамику стоимости проезда, который определяется по следующему выражению:

$$i_{\text{СП}} = \frac{СП_1}{СП_0},$$

$СП_1$ — стоимость проезда на прогнозируемый период, который учитывает инфляцию в регионе и уровень прибыли фирмы;

$СП_0$ — стоимость проезда в базовом периоде (или стоимость проезда у лидирующего конкурента, например вида транспорта или предприятия);

$i_{\text{БП}}$ — индекс, характеризирующий динамику повышения безопасности на транспорте:

$$i_{\text{БП}} = \frac{БП_1}{БП_0},$$

где $БП_1$ — стоимость мероприятий в прогнозируемом периоде, направленных на повышение надежности, обеспечение технической и экологической безопасности (руб.);

$БП_0$ — достигнутый уровень надежности, технической и экологической безопасности в базовом периоде в финансовом выражении;

$i_{\text{КС}}$ — индекс, характеризирующий динамику улучшения сервисных услуг в начальном, конечном и промежуточных пунктах, а также уровень комфорта в пути следования:

$$i_{КС} = \frac{КС_1}{КС_0},$$

где $КС_1$ — стоимость работ, направленных на повышение в прогнозируемом периоде качества сервисных услуг в начальном, промежуточном и конечном пунктах (руб.);

$КС_0$ — уровень обеспечения качества сервисных услуг в базовом периоде в финансовом выражении (руб.);

$i_{\text{ДТ}}$ — индекс, характеризирующий динамику доступности транспорта в части реализации билетов, условий работы городского транспорта, по времени расположения пассажирских терминалов и остановочных пунктов:

$$i_{ДТ} = \frac{Д_{ДТ1}}{Д_{ДТ0}},$$

где $Д_{\text{ДТ1}}$ — стоимость мероприятий по улучшению работы транспорта региона для обеспечения необходимой доступности для пассажиров в финансовом выражении (руб.);

$Д_{\text{ДТ0}}$ — достигнутый уровень доступности в базовом периоде в финансовом выражении;

$i_{\text{НС}}$ — индекс динамики показателей демографии населения региона по данным последней переписи населения:

$$i_{НС} = \frac{Н_{С1}}{Н_{С0}}$$

$Н_{С1}$ — численность населения региона по данным последней переписи населения (2010);

$Н_{С0}$ — численность населения региона по данным предыдущей переписи населения (2002);

$i_{\text{НД}}$ — индекс динамики среднедушевого дохода населения согласно соответствующих постановлений Правительства РФ:

$$i_{НД} = \frac{Д_{Н1}}{Д_{Н0}}$$

$Д_{\text{Н1}}$ — среднедушевой доход населения на прогнозируемый период по официальному постановлению Правительства РФ;

$Д_{\text{Н0}}$ — достигнутый уровень среднедушевого дохода населения в базисном периоде.

Динамику номинального среднедушевого дохода населения можно установить, используя имеющиеся статистические данные в регионе на прогнозируемый период ($Нд_1$) и на базовый период ($Д_{\text{Н0}}$).

Рассмотрим пример:

Восполнить прогноз объема перевозок на летний период 2012 г., если известно:

1) $M_0^{2010} = 2373$ тыс. чел.; 2) $i_{СП} = 0{,}9587$; 3) $i_{БП} = 1{,}00$; 4) $i_{КС} = 1{,}015$; 5) $i_{ДТ} = 1{,}0$; 6) $i_{НС} = 0{,}995$; 7) $i_{НД} = 1{,}028$.

При использовании этих данных прогнозное значение объема перевозок в летний период 2012 г. (май–август) для Нижегородской области составит

$$M_1 = 2373\left[\left(\frac{1}{1{,}043}\cdot 1{,}0\cdot 1{,}015\cdot 1{,}0\right)\cdot 0{,}995\cdot 1{,}028\right] = 2362 \text{ тыс. чел.}$$

Таким образом, по этим данным численность пассажиров уменьшилась на 0,5 %, или на 11 тыс. чел., за расчетный период или почти на 1,6 тыс. чел. ежемесячно. Такое снижение произошло за счет повышения стоимости проезда, которая выросла против базового периода на 4,3 %. В то же время положительное влияние на этот показатель оказали: 1) улучшение качества сервиса и повышение комфорта в пути следования; 2) индексация среднедушевого дохода населения, которая составила 2,8 %.

Если стоимость проезда принять на уровне базового года, тогда прогноз этого показателя составит

$$M_1 = 2373\left[\left(\frac{1}{1}\cdot 1{,}0\cdot 1{,}015\cdot 1{,}0\right)\cdot 0{,}995\cdot 1{,}028\right] = 2464 \text{ тыс. чел.,}$$

что превысит объем перевозок пассажиров в регионе для базового периода на 91,0 тыс. чел. Следовательно, ежемесячно скоростным флотом воспользовались бы дополнительно 13 тыс. чел. Увеличение численности пассажиропотока также произойдет за счет улучшения качества сервиса и повышения комфорта в пути следования и индексации уровня среднедушевого дохода населения.

Проведенные расчеты показывают, что предлагаемая индексная мультипликативная модель прогнозирования объема перевозок пассажиров транспортом региона «реагирует» на всю положительную и отрицательную динамику параметров и факторов конкурентоспособности транспорта. Например, при возрастании стоимости проезда на прогнозируемый период объем перевозок пассажиров снижается согласно рыночному закону спроса. Наоборот, если стоимость проезда остается на уровне базового периода с учетом уровня комфорта в пути следования и индексации доходов населения, тогда объем пассажиропотока увеличивается, то есть «срабатывает» мультипликативный эффект.

Далее выполним анализ для установления общего изменения объема перевозок пассажиров с учетом динамики параметров конкурентоспособности транспорта. Расчеты показывают, что на снижение численности перевозок пассажиров на 11 тыс. чел. повлияли следующие факторы конкурентоспособности:

— рост стоимости проезда на 4,3 %;

— повышение уровня сервиса в пути следования;

— повышение качества сервиса обслуживания пассажиров в начальном и конечном пунктах на 1,5 %;

— ухудшение демографии в регионе, снижение численности населения на 0,5 %;

— индексация среднедушевых доходов населения на 2,8 %, то есть

$$\Delta M_1 = M_1 - M_0 = 2362 - 2373 = -11 \text{ тыс. чел.}$$

Проведем факторный анализ и определим уровень влияния изменения каждого из перечисленных факторов на изменение объема перевозок пассажиров транспортом региона.

Изменение прогнозного уровня перевозок пассажиров произошло под влиянием:

1) изменения стоимости проезда на прогнозируемый период:

$$\Delta M_{1(СП)} = M_0\left(i_{СП} - 1\right) = 2373\cdot\left(0{,}9587 - 1\right) = 98{,}0 \text{ тыс. чел.;}$$

2) изменения сервиса в пути следования:

$$\Delta M_{1(КС)} = M_0\cdot i_{СП}\cdot\left(i_{КС} - 1\right) = 2373\cdot 0{,}9587\cdot\left(1{,}015 - 1\right) = 34{,}13 \text{ тыс. чел.;}$$

3) изменения демографии населения в регионе:

$$\Delta M_{1(НС)} = M_0 \cdot i_{СП} \cdot i_{КС} \cdot (i_{НС} - 1) = 2373 \cdot 0,9587 \cdot 1,015 \cdot (0,995 - 1) = -11,54 \text{ тыс. чел.}$$

4) изменения индексации номинального дохода населения:

$$\Delta M_{1(НД)} = M_0 \cdot i_{СП} \cdot i_{КС} \cdot i_{НС} (i_{НД} - 1) = 2373 \cdot 0,9587 \cdot 1,015 \cdot 0,995 \cdot (1,028 - 1) = 64,33 \text{ тыс. чел.}$$

Следовательно, общий прирост объема перевозок пассажиров в прогнозируемом периоде складывается из уровня изменения каждого из перечисленных параметров в отдельности, то есть

$$\Delta M_1 = M_1 - M_0 = \Delta M_{1(СП)} + \Delta M_{1(КС)} + \Delta M_{1(НС)} + \Delta M_{1(НД)}$$

или

$$2362 - 2373 = 98,0 + 34,13 - 11,54 + 64,33 = -11,08 \text{ тыс. чел.}$$

Отметим, что небольшое отклонение между прогнозным значением и результатом факторного анализа произошло за счет точности округления в расчетах.

Предлагаемая методика может быть использована при маркетинговых исследованиях и обоснованиях конкурентоспособности видов транспорта, а также в сравнительном анализе конкурентных преимуществ инновационных транспортных средств в транспортной компании.

Список литературы

1. *Зюзин В. Л.* Организационно-экономические аспекты эффективности управления транспортным комплексом региона / В. Л. Зюзин. — Н. Новгород: ВГАВТ, 2010.

2. *Савицкая Г. В.* Анализ хозяйственной деятельности предприятия / Г. В. Савицкая. — М.: ИНФРА-М, 2009.

3. *Харченко Л. П.* Статистика / Л. П. Харченко, В. Г. Долженкова, В. Г. Ионин [и др.]. — М.: ИНФРА-М, 2003.

УДК 519.862:332.146

А. И. Татаркин,
д-р экон. наук, академик РАН,
Институт экономики УрО РАН;

Е. П. Набережнева,
канд. физ.-мат. наук,
СПГУВК
(Уральский филиал)

ТРАНСПОРТНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В МОДЕЛИРОВАНИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ РЕГИОНА

TRANSPORT COMPONENT IN MODELLING THE STATE ECONOMIC POLICY OF THE REGION

На основе использования производственной функции Кобба–Дугласа применительно к таким отраслям, как промышленность и транспорт Урала, обоснована возможность ее использования для моделиро-

вания экономической политики старопромышленного региона. Показана необходимость опережающего производства транспортной отрасли для достижения поставленных целевых показателей.

On the basis of using the Cobb-Douglas`s industrial function in conformity with such branches as In-dustry and transports of the Urals, its usage is grounded for the modeling of economic policy of the old indus-trial region. The necessity of outstripping development of the manufacturing industry and transport to ensure the development of the regional economy is shown.

Ключевые слова: региональная экономика, математическое моделирование, макроэкономические показатели, экономическая политика, транспорт.

Key words: regional economics, mathematical modeling, macro-economic indicators, economic policy, transport.

ТРАНСПОРТ является одной из крупнейших системообразующих базовых отраслей, имеющей тесные связи со всеми элементами экономики и социальной сферы.

При формировании эффективной экономической политики весомым фактором, определяющим ее направленность, значения целевых показателей и инструментов, является идентификация текущей стадии экономического цикла, что обеспечивает определение приоритетных направлений развития региона для более эффективного использования ресурсного потенциала.

В Уральском регионе динамично развиваются производственные отрасли: металлургия, машиностроение и электромашиностроение, строительная индустрия. В силу особенностей географического положения и наличия высокого кадрового потенциала представляется актуальным развитие транспортной отрасли [1]. В рамках отраслевой производственной функции Кобба–Дугласа и модели потребления Кейнса показана необходимость опережающего развития транспортной составляющей в экономической политике региона.

На основе информации необходимо решить задачу определения текущей стадии экономического цикла, что требует разработки соответствующей модели идентификации. Результатом работы данной модели является определение приоритетных направлений государственной региональной экономической политики, в том числе и развитие транспортного комплекса.

Присутствующая в системе модель формирования государственной региональной экономической политики призвана описать производственный, потребительский, инвестиционный, внешнеэкономический, бюджетный секторы экономики материальных и нематериальных отраслей народного хозяйства для моделирования управленческих решений по регулированию экономики региона. Модель позволит исследовать влияние экономической политики на функционирование основных сфер экономической системы региона в виде динамики изменения основных макроэкономических показателей региона.

Основные показатели, описывающие производственный сектор экономики на государственном и региональном уровне, следующие: Q — объем производства, K — капитал, L — занятость, U — уровень безработицы, W — заработная плата, P — прибыль. Данные показатели представлены в отраслевом разрезе для исследования структурных изменений в экономике.

В производственном секторе экономики согласно сформированной общегосударственной стратегии развития регионов и текущей рыночной ситуации принимаются решения об эффективном использовании материальных, финансовых и трудовых ресурсов с целью обеспечения сбалансированного развития региона, что можно выразить как решение следующей задачи:

$$\sum_{j=1}^{N} Q(K^j, L^j, C^j, Xm^j, Mp_v) \to \max, \tag{1}$$

$$\sum_{j=1}^{N} f_U(K^j, L^j, Mp_v) \to \min, \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{N} K^j \le Kp, \quad \sum_{j=1}^{N} L^j \le Lp, \tag{3}$$

$$Mp_{vi}^{\min} \le Mp_{vi} \le Mp_{vi}^{\max},\ i = \overline{1, M}, \tag{4}$$

где Q — общий объем производства товаров в j-й области; K^j — материально-финансовые факторы производства в области j; L^j — трудовые ресурсы в области j; C^j — потребление товаров области j; Xm^j — внешнеэкономическая активность в j-й области; Mp_v — управляющие инструменты производственного сектора экономической политики; $\sum_{j=1}^{N} f_U(K^j, L^j)$ — общее количество безработных.

Общий объем капитала в текущем периоде в области j наращивается за счет государственных (Ig^j) и частных (Ih^j) инвестиций:

$$K^j = (1 - v^j)K_{-1}^j + Ig^j + Ih^j, \tag{5}$$

где K_{-1}^j — капитал в области j за предшествующий период; v^j — часть капитала в области j, которая привлекается из процесса производства при условии сноса (выбытия).

Показатель K^j_{-1} определяется непосредственно из базы данных экономической информации. Амортизационные отчисления A^j рассчитываются по формуле

$$A^j = d_a \cdot K_{-1}^j, \tag{6}$$

где d_a — норма амортизации капитала.

Государственная региональная политика в сфере занятости направлена на увеличение количества рабочих мест и рост заработной платы [4, с. 87–90]. Общее количество трудовых ресурсов в общем виде можно определить как

$$L = \sum_{j=1}^{N} L_{-1}^j \cdot f_L^j(r_L, \Delta K^j, W_{-1}^j, Q_{-1}^j), \tag{7}$$

где r — демографический параметр, который отображает изменение трудоспособного населения в регионе.

Расчет занятых трудовых ресурсов на текущий период производится на основе следующей зависимости:

$$L^j = (1 + r)L_{-1}^j + \Delta L^j, \tag{8}$$

где L^j, L^j_{-1} — численность занятого населения в отрасли j в текущий и прошлый период соответственно, ΔL^j — прирост занятого населения в отрасли j.

Данный показатель ΔL^j рассчитывается из следующей зависимости:

$$\Delta L^j = \frac{(K^j - K_{-1}^j)}{K_{-1}^j} \cdot L_{-1}^j \cdot \frac{Sl_{-1}^j}{1 - Sl_{-1}^j}, \tag{9}$$

где Sl^j_{-1} — часть продукции отрасли j, приходящаяся на заработную плату рабочим, рассчитывается по нижеприведенной зависимости:

$$Sl_{-1}^j = \frac{W_{-1}^j}{Y_{-1}^j}, \tag{10}$$

где W^j_{-1} — фонд заработной платы в отрасли j.

Приведенную выше зависимость применим к реальным данным по отраслям экономики за 2007–2011 гг.

Проанализируем данные зависимости по трем ведущим отраслям: промышленность, сельское хозяйство, строительство. По статистическим данным рассчитаем изменение численности занятого населения в соответствующих отраслях по фактическим данным (ΔLf) и исходя из предложенной формулы (ΔLv) проанализируем сумму квадратов отклонений фактических изменений занятости от расчетных — S [3; 4]:

$$S = \sum_i (\Delta Lf_i - \Delta Lv_i)^2, \tag{11}$$

где i указывает соответствующий год показателей.

Таблица 1

Расчетные данные по отрасли «промышленность»

Год	*Y*	*K*	*L*	*W*	*Sl*	Δ*Lf*	Δ*Lv*
2006	103,701	59,157	6,43	15,187	0,256724	–0,07	–0,142722
2007	89,946	56,445	6,38	14,73	0,260962	–0,05	–0,104089
2008	84,882	52,453	6,27	14,5824	0,278009	–0,11	–0,173745
2009	89,448	55,241	6,3	14,784	0,267627	0,03	0,121783
2010	93,918	56,284	6,33	14,996	0,266435	0,03	0,043203
2011	94,254	57,188	6,37	15,452	0,270197	0,04	0,037641
						S	0,020882

Рассчитанное значение квадрата отклонения составляет 0,020822, что указывает на достаточную адекватность зависимости (11) по основной в России производственной отрасли.

Таблица 2

Расчетные данные по отрасли «транспорт»

Год	*Y*	*K*	*L*	*W*	*Sl*	Δ*Lf*	Δ*Lv*
2006	14,302	12,343	2,42	5,763	0,466657	–0,09	–0,128580
2007	12,081	11,659	2,34	5,616	0,481676	–0,08	–0,124587
2008	13,097	11,742	2,36	5,712	0,486542	0,02	0,015347
2009	14,245	11,971	2,41	5,808	0,485213	0,05	0,043579
2010	14,451	12,183	2,43	5,862	0,481281	0,02	0,039229
2011	15,128	12,924	2,51	5,912	0,457444	0,08	0,125148
						S	0,005947

Как показывают расчетные данные (табл. 1, 2), построенные зависимости (1)–(4) дают высокое приближение к фактическим данным, доказательством чему может служить сумма квадратов отклонений фактического изменения занятости от расчетного показателя (11). Этот показатель во всех трех случаях меньше 0,1, что говорит об адекватности данной зависимости.

Следующим шагом отраслевой модели производства является расчет объема производства на основе производственной функции Кобба–Дугласа. Общий вид производственной функции имеет вид

$$Q^j = a_0^j \cdot K_j^{a_1^j} \cdot L_j^{a_2^j}, \tag{12}$$

где Q^j — объем производства отрасли j, K_j, L_j — затраты капитала и труда в j-й отрасли, a_0^j, a_1^j, a_2^j — коэффициенты производственной функции Кобба–Дугласа, a_1^j,a_2^j — предельная производительность капитала и труда соответственно в отрасли j, все коэффициенты находятся статистически исходя из анализа данных по затратам капитала и труда в отрасли и объемам производимой продукции за прошлые периоды.

По вышеприведенной формуле (12) рассчитываются прогнозируемые объемы производства по отраслям.

Изменение общего фонда оплаты труда в области j в общем виде определяется приростом капитала и эффективностью использования материальных (E_K^j) и трудовых ресурсов (E_L^j):

$$W^j = W_{-1}^j \cdot \frac{K^j}{K_{-1}^j} \cdot dw^j(L^j, E_L^j, E_K^j). \tag{13}$$

Исходя из параметров производственной функции Кобба–Дугласа a_1^j, a_2^j, объемы заработной платы и совокупную прибыль предприятий по отраслям можно рассчитать на основе следующей зависимости:

$$W^j = \frac{K^j}{K_{-1}^j}\left(1 + \operatorname{sign}(a_2^j)\cdot\frac{B_L}{B_L + |a_2^j|}\right)\cdot W_{-1}^j, \tag{14}$$

где W^j — заработная плата в отрасли j, B_L — параметр модели, который отражает степень использования фактора трудовых ресурсов в производстве.

$$P^j = \frac{K^j}{K_{-1}^j}\left(1 + \operatorname{sign}(a_1^j)\cdot\frac{B_K}{B_K + |a_1^j|}\right)\cdot P_{-1}^j, \tag{15}$$

где P^j — прибыль в отрасли j, B_K — параметр модели, который отражает степень использования капитала в производстве.

Формулы (14), (15) требуют более детального пояснения:

— в обеих формулах присутствует такая составляющая, как отношение капитала в отрасли на текущий момент к капиталу в данной отрасли в предыдущем периоде, $\frac{K^j}{K_{-1}^j}$. Данная дробь представляет собой экстенсивную составляющую заработной платы (прибыли), то есть эта дробь отражает следующую гипотезу: рост заработной платы (прибыли) в отрасли пропорционален росту капитала в соответствующей отрасли;

— выражение в скобках в обеих формулах представляет интенсивную составляющую заработной платы (прибыли). Данная часть формулы отражает темпы роста заработной платы (прибыли) в зависимости от эффективности использования основных ресурсов, капитала и труда. В основу этой составляющей положена вышеописанная гипотеза о том, что предприниматель пытается более интенсивно использовать труд, если его эффективность очень высока, что ведет к увеличению затрат на заработную плату. В случае когда более интенсивно используется капитал — предприниматель не несет дополнительных затрат, то есть прирост капитала уже сам по себе обеспечивает дополнительную прибыль предпринимателю;

— коэффициенты в обеих формулах отражают степень значимости интенсивной составляющей в экономике региона и приводят в соразмерность коэффициенты функции Кобба–Дугласа и темпы роста заработной платы (прибыли).

Для моделирования влияния государственной экономической политики на региональные производственные факторы в качестве управляющих переменных используются: государственные инвестиции в отраслевом разрезе Ig_j, норма амортизации капитала d, размер минимальной заработной платы $W\min$.

По вышеприведенной формуле (12) рассчитываются прогнозируемые объемы производства по всем отраслям.

В 2012 г. расчеты, проведенные в рамках описанной модели, подтверждены статистическими данными за первое полугодие.

Список литературы

1. О федеральной целевой программе «Развитие транспортной системы России (2010–2015 гг.)»: в ред. Постановлений Правительства Рос. Федерации от 31 мая 2006 г. № 338, от 22 апреля 2010 г. № 278, от 12 декабря 2010 г. № 828, от 21 декабря 2010 г. № 1076, № 1035, от 22 декабря 2010 г. № 1088).

2. *Дорошенко И. В.* Региональная экономика и размещение производительных сил / И. В. Дорошенко. — М.: Благовест, 2006. — 152 с.

3. Государственное регулирование экономики в современных условиях / Ин-т экономики РАН. — М.: РАН, 2008. — Т. 2. — 678 с.

4. *Набережнева Е. П.* Моделирование макроэкономических процессов выбора государственной экономической политики Уральского экономического региона / Е. П. Набережнева // Глобализация: межвуз. сб. науч. ст. — СПб., 2010.

5. *Калейчик М. М.* Квалиметрия / М. М. Калейчик. — М., 2010. — С. 44–47.

УДК 347.79

В. А. Бабурин,
канд. техн. наук, профессор,
СПГУВК;

С. К. Минеев,
аспирант,
СПГУВК;

К. Р. Бабурина,
студентка,
СПГУВК

АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ СУДОВ В ПОРТАХ

ANALYSIS OF ORGANIZATION LEGISLATION FOR VESSELS SERVICE IN THE PORTS

В статье рассматриваются проблемные вопросы, связанные с нормативно-правовым обеспечением работы пунктов пропуска в портах России. Комиссионный порядок оформления судов и грузов, предусматриваемый действующим законодательством, является негативным фактором, снижающим производственную мощность портов. Для повышения пропускной способности, конкурентоспособности и привлекательности российских морских транспортных узлов, необходимо законодательно закрепить упрощенный порядок государственного контроля, основанный на широком внедрении предварительного информирования и электронного документооборота.

Problem questions of the point of passing legislation in the Russian ports are considered in the article. Commission order for vessels and cargo customs clearance, which is provided by being legislation, is the negative factor reducing the port cargo-handling capacity. It is necessary to install the simplified government control order based on preliminary informing and electronic data interchange for increasing cargo-handling capacity, competitiveness and attractiveness of Russian ports.

Ключевые слова: нормативно-правовое обеспечение, суда, обслуживание, организация, пропускная способность, порт, государственный контроль, «единое окно».

Key words: legislation, vessels, service, organization, cargo-handling capacity, port, government control, "single window".

ПРОПУСКНАЯ способность обслуживающих систем является их основной характеристикой, по существу, параметром, отражающим их производственную мощность. Она определяется прежде всего технической оснащенностью, которую в случае портов при-

нято называть механовооруженностью. Из теории и практики известно [1; 2], что СМО бывают различных видов: одноканальные и многоканальные, с очередями и без очередей, с приоритетом и без приоритета в обслуживании и другие; а также, что значение технических и технологических условий их функционирования существенно разнятся.

Например, автозаправочная станция и шлюз — вообще говоря, СМО. Однако целевые установки и критерии эффективности для них разные, и управление шлюзом как элементом водно-транспортной системы является более сложным, существенно более сильно зависящим от организационно-технологических условий.

Во-первых, суда как заявки на обслуживание характеризуются множеством рангов приоритета по видам объектов (военные, пассажирские, нефтеналивные, работающие по расписанию и т. д.) и родам перевозимых грузов (скоропортящиеся, тарно-штучные, минерально-строительные материалы и другие грузы).

Во-вторых, технология шлюзования лимитирует возможность одновременного шлюзования определенных объектов.

Поэтому оперативные планы работы шлюзов, собственно шлюзования, составляются на основании предварительной информации о подходе; в чем нет необходимости и чего не делается в случае АЗС. Указанные организационно-технологические аспекты естественным образом сказываются на пропускной способности рассмотренных СМО. И это надо учитывать.

С портами ситуация является еще более сложной. Исследованиями [3 и др.] установлено, что на текущий момент в эволюции портов выделяются четыре стадии развития или поколения портов как предприятий, осуществляющих перегрузку грузов с водного транспорта на сухопутный и обратно до портов как промышленных и логистических центров, обеспечивающих эффективное производство, дистрибьюцию и перевалку грузов (рис. 1).



Рис. 1. Схема эволюции портов

Поэтому для портов, особенно последних поколений, вопросы организационно-технологического взаимодействия имеют такое же значение, как и техническая оснащенность, иначе — механовооруженность. В связи с этим нормативное обеспечение функционирования современных портов на правовой, в том числе международной, основе имеет в этом смысле первостепенное значение.

На сегодня важной проблемой в морских портах РФ (как пунктов пропуска — МПП) является оформление прихода-отхода судов. Эта процедура регламентируется следующими юридически оформленными документами, обязательными к исполнению:

— «Типовая схема организации пропуска через государственную границу Российской Федерации физических лиц, морских и речных судов, грузов и товаров в пунктах пропуска, расположенных в морских и речных портах РФ», утвержденная приказом Минтранса России № 247 от 22 декабря 2009 г.;

— технологические схемы организации пропуска через государственную границу Российской Федерации лиц, транспортных средств, грузов, товаров и животных в морских пунктах пропуска на основании и в развитие приказа Минтранса России № 247 от 22 декабря 2009 г.;

— Таможенный кодекс Таможенного союза, Таможенный кодекс (ТК) РФ и изданный на основе ст. 74 ТК РФ Приказ ФТС № 1479 от 11 августа 2009 г. «Об утверждении Положения о таможенном оформлении и таможенном контроле судов, используемых в целях торгового мореплавания, а также товаров, перемещаемых через таможенную границу Российской Федерации этими судами»;

— Положение о таможенном оформлении и таможенном контроле морских (речных) судов, используемых в целях торгового мореплавания, а также товаров, перемещаемых через таможенную границу Российской Федерации этими судами (Приказ ФТС России № 892 от 12 сентября 2001 г.);

— Общие правила плавания и стоянки судов в морских портах Российской Федерации и на подходах к ним (утверждены приказом Минтранса России № 140 от 20 августа 2009 г.).

Другими правовыми нормами, регламентирующими процесс проведения государственного контроля, являются: ведомственные нормативные акты федеральных органов исполнительной власти (ФОИВ), приказы ПС ФСБ РФ.

Например, п. 4 Положения о применении средств и методов контроля при осуществлении пропуска лиц, транспортных средств, грузов, товаров и животных через государственную границу Российской Федерации, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 50 от 2 февраля 2005 г., определено, что порядок применения средств контроля государственными контрольными органами при осуществлении контроля в пунктах пропуска через государственную границу определяется нормативными правовыми актами соответствующих федеральных органов исполнительной власти.

Согласно п. 15 Положения о таможенном оформлении и таможенном контроле судов, используемых в целях торгового мореплавания, а также товаров, перемещаемых через таможенную границу Российской Федерации этими судами, утвержденного приказом ГТК России № 892 от 12 сентября 2001 г., для целей осуществления таможенного оформления и таможенного контроля морских судов, прибывающих/убывающих в морские порты ***при каждом судозаходе*** (выделено нами. — *Авт.*) создается комиссия, в состав которой, помимо сотрудников таможенной службы, входят сотрудники пограничного, санитарно-карантинного, ветеринарного контроля, а также государственной службы карантина растений, производящих оформление и контроль судов и экипажей при приходе или отходе за границу на борту судна.

Пунктами 15 и 70 Инструкции об организации деятельности должностных лиц таможенных органов при совершении таможенных операций в отношении судов, используемых в целях торгового мореплавания, и товаров, перемещаемых через таможенную границу Российской Федерации этими судами, утвержденной приказом ФТС России № 1132 от 2 декабря 2005 г., определен порядок действий должностных лиц таможенных органов при осуществлении фактического тамо-

женного контроля в форме таможенного осмотра (досмотра) морских судов при их прибытии на таможенную территорию Российской Федерации либо убытии с нее.

Кроме того, следует отметить, что порядок и последовательность действий должностных лиц государственных контрольных органов в пункте пропуска через государственную границу Российской Федерации при осуществлении функций контроля закреплены Правилами осуществления контроля в пунктах пропуска через государственную границу Российской Федерации, утвержденными постановлением Правительства РФ № 872 от 20 ноября 2008 г. и «Типовой схемой организации пропуска через государственную границу РФ лиц, транспортных средств, грузов, товаров и животных в морских и речных (озерных) пунктах пропуска через государственную границу РФ», утвержденной приказом Минтранса РФ № 247 от 22 декабря 2009 г., а на локальном уровне с учетом местных условий — технологическими схемами организации работы МПП [5].

В соответствии с Положением о таможенном оформлении и таможенном контроле судов, используемых в целях торгового мореплавания, а также товаров, перемещаемых через таможенную границу Российской Федерации этими судами, продолжительность таможенного оформления судов в зависимости от типа судна и его грузоподъемности установлена Приказом ГТК России № 892 от 12 сентября 2001 г. (см. табл. 1) [1], которые могут быть уточнены в упомянутых выше технологических схемах.

Таблица 1

Время (в ч) таможенного оформления судов на приход/отход

Тип судна	Грузоподъемность, т			
	до 3000	3001–5000	5001–15 000	более 15 000
Сухогрузное	1,5	2,5	3,0	3,0
Наливное	1,0	1,5	1,5	2,5

При этом необходимо отметить, что согласно действующим технологическим схемам работы МПП общее время осуществления контрольных операций (при наличии оснований) может быть увеличено по решению уполномоченных должностных лиц контрольных органов.

При этом простои судов в ожидании завершения контрольных процедур и начала операций загрузки-разгрузки в разных морских портах составляют от 3–4 ч до 2–3 сут, что прямо влияет на конкурентоспособность российских портов и привлекательность российских участков мультимодальных транспортных коридоров по сравнению с портами стран ЕС и АТР.

Таким образом, организация обслуживания судов в российских морских портах отличается сложностью процедур оформления судозаходов и многочисленностью сотрудников государственных контрольных органов, осуществляющих 100 %-ный контроль прибывающих и убывающих морских судов, грузов и пассажиров на основании проверки многочисленных бумажных документов, требуемых от судовладельцев или их представителей.

Существующая Типовая схема, предусматривающая многочасовую комиссионную проверку судов с большим количеством документов и официальных лиц, противоречит действующему международному законодательству, не отвечает современным требованиям организации транспортного процесса. Особого внимания заслуживает тот факт, что согласно ст. 1 Конвенции по облегчению международного морского судоходства ФАЛ-65: «Стороны принимают надлежащие меры для сокращения необоснованных задержек судов в портах государств и упрощения выполнения административных, таможенных и санитарных формальностей», Российская Федерация как участник этой Конвенции приняла на себя обязательства обеспечивать все надлежащие меры для облегчения и ускорения международного морского судоходства и предотвращения ненужных задержек судов и находящихся на них лиц и имущества, что отмечено в п. 5 Типовой схемы. Однако это пока остается по факту всего лишь лозунгом, но не более. Европейские страны перешли на технологию работы по правилам Конвенции ФАЛ 1965 г. во исполнение Директивы 2002/6/ЕС еще в 2003 г. [5].

В Типовой схеме не определен перечень документов, предоставляемых органам государственного контроля. Состав сведений написан расплывчато и позволяет произвольное толкование. В соответствии же с Конвенцией ФАЛ-65 все страны мира при приходе и отходе судов «ограничивают информацию, требуемую ими от судовладельцев и других заинтересованных сторон той, которая требуется Конвенцией ФАЛ». Конвенцией определен состав данных предварительного информирования и конкретный список предоставляемых документов при приходе и отходе судна (Формы 1–7 ИМО ФАЛ и Морская санитарная декларация).

На сегодня в отечественной практике с учетом реализации ведомственных подзаконных актов количество документов, требуемых для представления органам государственного контроля, превышает конвенционные требования в 4–5 раз. В соответствии с п. 2.1 Конвенции: «Государственные власти не требуют для оставления у себя при приходе или отходе судов, к которым применяется настоящая Конвенция, каких-либо других документов, кроме тех, которые указаны в настоящем разделе». Таких документов должно быть не более 9. В российских же портах количество форм документов за последние 20 лет возросло в 4 раза: от 12 форм в 1990 г. до 44 форм в 2010 г. (данные ЮРАМА по терминалу КТК-Р морского порта Новороссийск) [4].

В тексте Типовой схемы отсутствуют положения о возможности совмещения грузовых операций и контрольных действий уполномоченных органов; положения о возможности подачи документов и сведений предварительного информирования органам государственного контроля в электронном виде через механизм «единого окна», что широко применяется в международной практике около 10 лет.

В этом смысле Типовая схема 2009 г. противоречит требованиям следующих международных конвенций и рекомендаций:

— Рекомендации № 33 Европейской экономической комиссии ООН о внедрении механизма «единого окна»: «данные, которые могут потребоваться различным службам, подаются в форме документа (бумажного или электронного) только одной из них, на которую возложено выполнение функции “единого окна”»;

— требованиям международной конвенции ФАЛ-65:

«2.1.5. Государственным властям следует:

а) разработать системы электронной передачи данных для представления информации до прибытия и до отхода;

б) рассмотреть вопрос о повторном и последующем использовании информации до прибытия и до отхода в последующих процедурах как части всей информации, требуемой для выпуска/очистки пассажиров и груза».

До сих пор не решен важнейший организационный вопрос, координирующий работу пунктов пропуска. Действует давно сложившийся ведомственный подход, при котором ни один из государственных контрольных органов на пунктах пропуска (морском и других видов транспорта) не выполняет координирующую функцию, несмотря на то что продекларирован приоритет ПС.

Межведомственное взаимодействие на пунктах пропуска в настоящее время обеспечивается совещательным органом (Координационный совет пункта пропуска через государственную границу РФ), собирающимся на периодической основе (ежеквартально). При этом, подчеркнем еще раз, ни один из федеральных органов исполнительной власти не отвечает за обеспечение межведомственного взаимодействия органов государственного контроля на пунктах пропуска через государственную границу и за их согласованную работу.

Невыполнение требований ст. 2.1.5 Конвенции ФАЛ-65 и Рекомендации № 33 ЕЭК ООН приводит к отсутствию межведомственных информационных электронных ресурсов в российских МПП (механизм «единого окна» (см. рис. 2)). В то же время в европейских портах успешно реализованы и эксплуатируются системы «единого окна» как в целях межведомственного информационного взаимодействия участников транспортного рынка, так и в целях предварительного информирования (DAKOSY, PORTNET, ENIGMA, PORTEL и др.).

Между тем в Постановлении Правительства РФ № 848 от 5 декабря 2001 г. «О федеральной целевой программе “Модернизация транспортной системы России (2002–2010 годы)”» подчеркивается важность выполнения обязательств Российской Федерации, вытекающих из Конвенции ФАЛ, в частности приведение норм российского законодательства, особенно таможенного, в соответствие с ее положениями [4].

В табл. 2 представлена сравнительная характеристика практики оформления прихода-отхода судов в портах.

Существующий в РФ порядок таможенно-пограничного (государственного) контроля и оформления транспортных средств, грузов и пассажиров является общегосударственной, общетранспортной проблемой; отрицательным фактором, существенно снижающим конкурентоспособность отрасли и экономики в целом. Для водного же транспорта это не просто анахронизм, но рудимент, создающий парадоксальную ситуацию.

Парадокс заключается в том, что в МПП процедуры в соответствии с «Типовой схемой организации пропуска через государственную границу Российской Федерации лиц, транспортных средств, грузов, товаров и животных в морских и речных (озерных) пунктах пропуска» в полном объеме осуществляются и со всеми судами, выполняющими каботажные перевозки, в том числе в пределах территориальных вод.

Эта проблема, как отмечено ранее, существует и для других видов транспорта и пунктов пропуска (ж/д, автомобильных), пусть и не в таком парадоксальном виде. Здесь также надо иметь в виду состоявшееся членство России в ВТО и наши претензии на безвизовые заграничные поездки.

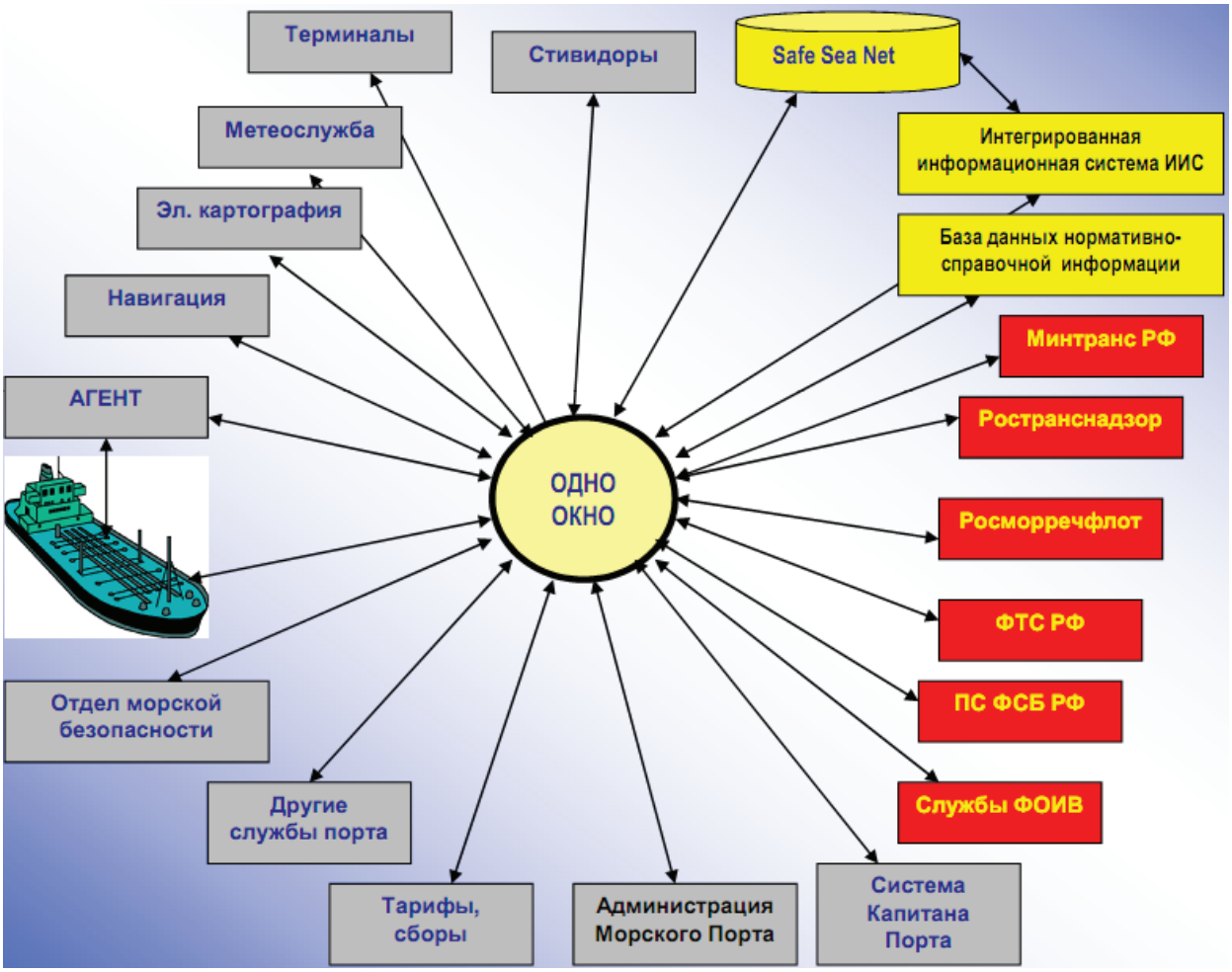


Рис. 2. Предполагаемая схема информационного взаимодействия на основе механизма «единого окна»

Таблица 2

Сравнительная характеристика практики оформления прихода-отхода судов в портах

Показатель	Применяемая практика	
	Российская Федерация	международная
Предварительное информирование	За 72 ч; возможны судозаходы без предварительного информирования, то есть по факту	Директивно за 72 ч; на практике минимум за 14 сут (например, в Финляндии по круизным судам за 6 мес.)
Форма информирования	Бумажные документы (факс)	Электронные документы
Охват судов проверками	100 %	Выборочно на основании оперативных данных системы управления рисками
Порядок государственного контроля	До и после грузовых операций, суда в порядке очереди ожидают прихода комиссии, ожидание может продолжаться 6–12 ч	Грузовые операции и процедуры оформления и контроля идут параллельно и производятся сразу после прихода судна в порт
Нормативная продолжительность	Время работы комиссии по нормам таможни от 1 до 3 ч на каждом судне	10–15 мин
Количество представляемых документов	До 15 форм документов для 8 контролирующих организаций, информация на 80 % дублируется; в зависимости от порта перечень требуемых документов может варьироваться	7 форм в соответствии с Международной конвенцией ИМО ФАЛ 1965 г.; на практике 2–3 электронных документа
Численность представителей контролирующих органов	До 10–11 чел.	1–2 чел.
Механизм «единого окна»	Отсутствует; различные ведомства имеют разобщенные информационные системы	Единая межведомственная база данных

Необоснованные задержки оформления транспортных средств и грузов в российских портах могут стать серьезным фактором, препятствующим выполнению показателей ФЦП «Развитие транспортной системы России (2010–2015 годы)». Ведь один из заявленных конечных результатов реализации ФЦП — это рост объема экспорта транспортных услуг в 1,9 раза и увеличение транзита грузов по территории Российской Федерации в 1,4 раза [5].

В целях роста экспорта транспортных услуг и повышения привлекательности российских портов и участков международных транспортных коридоров необходимо разработать и принять документ прямого действия, который позволил бы упростить контрольные процедуры посредством приведения нормативных актов в соответствие с международными конвенциями и стандартами. В противном случае наши порты будут продолжать иметь худшие конкурентные возможности, а транзитный потенциал России останется невостребованным, ведь существуют проекты осуществления транзита, минуя Россию, например возрождение Шелкового пути.

Список литературы

1. *Бабурин В. А.* Экономико-математические методы и модели в управлении водным транспортом. Системы массового обслуживания: учеб. пособие / В. А. Бабурин, Т. И. Полянская, И. Д. Шилкина. — СПб.: СПГУВК, 2009. — 113 с.

2. *Бабурин В. А.* Конкуренция и конкурентоспособность портов: моногр. / В. А. Бабурин, Л. Н. Буянова. — СПб.: СПГУВК, 2011. — 140 с.

3. *Барышникова В. В.* Современный порт в логистической цепочке доставки грузов / В. В. Барышникова // Економіка та управління підприємствами машинобудівної галузі: проблеми теорії та практики: зб. наук. праць Одеського нац. морськ. ун-та. — Одесса, 2009. — Вип. № 4 (8).

4. *Коростелев В. Ю.* Реализация механизма «единого окна» — необходимое условие конкурентоспособности российских портов / В. Ю. Коростелев // Транспорт Российской Федерации. — М., 2010. — Вып. № 2 (27).

5. Рудиментарные административные практики, отрицательно влияющие на привлекательность российских участков мультимодальных транспортных коридоров и препятствующие эффективному движению транспортных, грузовых и пассажирских потоков через морские порты Российской Федерации: материалы совместной рабочей группы Общественного совета при Федеральном агентстве по обустройству государственной границы РФ (Росграница) при Общественной палате Российской Федерации. — М., 2010.

УДК 368

О. Л. Домнина,
канд. техн. наук, доцент,
ФБОУ ВПО «Волжская государственная
академия водного транспорта»

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ СТРАХОВАНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

FORECAST OF TRANSPORT INSURANCE DEVELOPMENT

Статья посвящена прогнозированию развития рынка транспортного страхования. Для этого исследуются факторы, оказывающие влияние на этот рынок. В результате прогнозов изменения этих факторов на следующий год и изучения статистики страховых премий предлагается прогноз дальнейшего развития рынка транспортного страхования.

Work is devoted to the forecast of the development of the transport insurance market. We have analyzed the factors which have influence on this market. The forecast for development of the transport insurance market is proposed basing on dynamics of the above mentioned factors changing.

Ключевые слова: транспортное страхование, прогноз развития страхования.
Key words: transport insurance, forecast for development of the insurance.

НА долю транспортного страхования приходится почти треть всех взносов страхователей. Поэтому прогноз его развития представляет особый интерес.

Предваряя прогноз этого сектора страхового рынка, сначала проведем анализ его развития в России.

1. Число страховых компаний, занимающихся транспортным страхованием, и их доля в общем количестве страховых компаний.

В Едином государственном реестре субъектов страхового дела на 31 марта 2012 г. было зарегистрировано 539 страховых организаций [1]. Из них лицензии на транспортные виды страхования имеют 379 компаний, или 70,3 %.

Кроме того, на рынке по-прежнему наблюдается тенденция к увеличению концентрации страхового бизнеса. На транспортном рынке в целом первые 5 компаний собирают 45 % премий.

2. Место транспортного страхования на страховом рынке по доле страховых премий и выплат.

Доля транспортных видов страхования в общем объеме страховых премий с учетом ОМС в 2011 г. составила 24,5 %, а без учета ОМС — 46,9 %. Доля же страховых выплат, приходящаяся на транспортное страхование, находится приблизительно на таком же уровне и с учетом ОМС составляет 19,3 %, а без учета ОМС — 56,5 %.

3. Структура страховой премии и страховых выплат по транспортным видам страхования.

Если проанализировать структуру страховых премий по отдельным видам страхования, то основная доля страховых взносов приходится на автомобильный транспорт (88,1 %). Страхование груза составляет 7,1 % страховых взносов, 2,5 % — на авиастравхование, 1,7 % — страхование водного транспорта.

Анализ структуры страхового возмещения в 2011 г. показывает, что, так же как и по страховым премиям, основная доля приходится на автомобильный транспорт (95,4 %). Доля страхования грузов в выплатах составляет 1,4 % выплат, на авиастрахование — 1,4 %, страхование водного транспорта — 1,6 % выплат.

4. Структура страховых премий и договоров по видам страхователей.

Около 70 % страховых премий собираются с физических лиц на автомобильном транспорте. По остальным видам страхования преобладают договора с юридическими лицами.

5. Динамика премий и выплат по транспортным видам страхования за 2005–2011 гг.

Динамика страховых взносов за 2005–2011 гг. [1–3; 5, с. 59–67] показывает, что на рынке страхования ОСАГО и ДСАГО, несмотря на экономический кризис, росли, по автокаско — наблюдалось сначала резкое падение премий в 2009 г., а затем два последних года премии росли и практически вышли на уровень докризисных цифр. Рост взносов по ОСАГО объясняется ростом коэффициентов тарифов, а также ростом автомобилей, по ДСАГО — вхождением с 2009 г. России в международную систему страхования «зеленая карта» и популяризацией ДСАГО в связи с недостаточностью страховой суммы по ОСАГО.

Среди других видов страхования положительная динамика наблюдается по страхованию грузов. На водном транспорте (в меньшей степени) и на воздушном транспорте при достаточно стабильной динамике в среднем объемы премий несколько снизились за последний год.

6. Анализ убыточности по видам транспортного страхования.

В целом по транспортным видам страхования убыточность снизилась с 63,1 до 55,1 %. По сравнению с прошлым годом несколько увеличилась убыточность по ДСАГО и в страховании авиационных рисков, по остальным видам она уменьшилась. При том что в автостраховании и в страховании на водном транспорте убыточность самая высокая (64,5 и 50,8 % соответственно), по ним наблюдается самое значительное снижение убыточности по сравнению с 2010 г., что связано, на мой взгляд, с увеличением доли расходов на ведение дела.

7. Доля транспортного страхования в ВВП.

В 2011 г. сборы страховой премии составили 2,5 % от ВВП [4]. Без учета ОМС доля страхования в ВВП значительно меньше и составляет 1,3 %. Доля транспортного страхования в ВВП еще ниже и составила в 2011 г. 0,7 %.

8. Характеристика реального и схемного рынка транспортного страхования.

Рынок продолжает очищаться от «схем». В 2011 г. доля «схем» на российском страховом рынке составила чуть меньше 8 % [4].

При этом наиболее «схемным» транспортным видом страхования по процентному соотношению реальных и неклассических операций, а также по объему «схемной» премии продолжает оставаться страхование грузов [4].

9. Компании-лидеры по транспортным видам страхования.

Среди компаний-лидеров по итогам первого полугодия 2011 г. такие компании, как Группа «Ингосстрах» (страхование автокаско, страхование водного и авиационного транспортов, страхование космических рисков и страхование ответственности грузоперевозчиков), Группа «Росгосстрах» (ОСАГО, ДСАГО и страхование пассажиров), Группа «СОГАЗ» (страхование грузов) [3].

10. Влияние вступления России в ВТО на транспортные виды страхования.

По всей вероятности, вступление России в ВТО мало скажется на рынке транспортного страхования. В основном иностранные страховщики ориентированы на рынок страхования жизни. Хотя некоторые компании, доля иностранного участия в уставных капиталах которых составляет 100 %, достаточно активно ведут себя и на рынке транспортного страхования. Это такие компании, как «РОСНО», «ЦЮРИХ», «ОРАНТА», «АЛЬЯНС», «ЭРГО РУСЬ».

11. Основные факторы развития транспортного страхования в 2011 г.

Основными тенденциями развития страхования в 2011 г. были [4]:

— попадание в зону риска компаний, делавших ставку на банковский канал продаж;

— продолжающийся демпинг;

— уход с рынка значительной части игроков;

— продолжение страховыми компаниями политики снижения размеров выплат;

— резкое увеличение числа случаев страхового мошенничества со стороны всех групп участников страхового рынка;

Кроме того, основными факторами, определяющими динамику российского страхового рынка во втором полугодии 2011 г. были:

— нестабильность на мировых финансовых рынках, сказавшаяся на замедлении темпов роста банковского кредитования. Как следствие — снижение темпов покупки новых автомобилей, а отсюда — замедление темпов роста видов страхования, связанных с автострахованием;

— корректировка тарифов в ОСАГО (поправки вступили в силу 28 июля 2011 г.);

— увеличение финансирования страхования космических рисков (в связи с негативным опытом падения спутников «Глонасс-М» в декабре 2010 г. и грузового корабля «Прогресс М-12М» в августе 2011 г.);

— внесение изменений в Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации, где определена обязанность владельцев судов вместимостью более 1000 т страховать ответственность за загрязнение моря бункерным топливом и с 1 июля 2011 г. повышены лимиты ответственности по страхованию от загрязнения моря нефтепродуктами.

Влияние различных факторов на конкретные виды транспортного страхования показано в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость транспортных видов страхования от различных факторов

Вид страхования	Фактор	Влияние
Страхование автокаско	Изменение условий кредитования; объем продаж автомобилей	При ужесточении условий — снижение премий; при увеличении объемов продаж автомобилей — рост премий
ОСАГО	Изменение поправочных коэффициентов; объем продаж автомобилей	При повышении коэффициентов — рост премий; при увеличении объемов продаж автомобилей — рост премий
ДСАГО	Изменение тарифов на полисы «зеленая карта»	В случае роста нестабильности и удешевления рубля премии растут, в противном случае — падают
Страхование грузов	Динамика оборота розничной торговли	При росте оборота — рост премий

Таблица 1
(*Окончание*)

Страхование железнодорожного транспорта (имущество + ответственность)	Динамика объема перевозок ж/д транспортом	При росте объемов перевозок — рост премий
Страхование авиационных рисков (имущественное + ответственности)	Экономическая стабильность и курс рубля	В случае роста нестабильности и удешевления рубля премии растут, в противном случае — падают
Страхование космических рисков	Бюджетное финансирование	Появление отдельной статьи в бюджете на 2012–2014 гг.
Страхование водного транспорта (имущественное + ответственности)	Поправки в Кодекс торгового мореплавания РФ, экономическая стабильность и курс рубля	Рост, вызванный ростом ответственности; в случае роста нестабильности и удешевления рубля взносы растут
Страхование ответственности грузоперевозчиков	Динамика оборота розничной торговли	При росте оборота — рост премий
Страхование пассажиров	Изменение реальных располагаемых доходов населения и числа поездок на транспорте	При росте доходов — рост премий

При прогнозировании взносов на 2012 г. будем основываться на следующих показателях:
— прогнозе развития экономики на 2012 г., опубликованный на сайте Минфина;
— прогнозе «Эксперт РА» развития банковской системы [4];
— анализе изменений в законодательстве;
— прогнозе объемов продаж автомобилей;
— анализе статистических данных [5].

Прогноз развития экономики на 2012 г. Нестабильность на мировых финансовых рынках в 2011 г. отрицательно сказалась на темпах восстановления экономики нашей страны. Существенно замедлились темпы роста продукции промышленности (по оценкам Минфина, 104,8 % против 108,2 % в 2010 г.), оборота розничной торговли (105,3 % против 106,3 %), а также реальных располагаемых доходов (101,5 % против 104,2 %), предполагается снижение темпов роста ВВП (со 104,1 % в 2011 г. до 103,7 % в 2012 г.). Все это должно сказаться на состоянии транспортного рынка с опозданием на полгода-год.

Таблица 2

Прогноз динамики макроэкономических показателей

Показатель	2009	2010	2011	2012
ВВП, %	92,2	104,0	104,1	103,7
Оборот розничной торговли, темп роста, %	94,9	106,3	105,3	105,5
Реальная заработная плата, в % к предыдущему году	100,9	103,9	103,6	105,1
Реальные располагаемые доходы населения, в % к предыдущему году	102,0	104,2	101,5	105,0

Источник: Прогноз Минфина на 3 ноября 2011 г.

Развитие банковской системы. По данным обзора ЦБ РФ, во втором полугодии 2011 г. отмечается снижение уровня доступности кредитов для всех категорий заемщиков. В результате еще в этот период наблюдалось замедление темпов прироста взносов по страхованию автокаско.

Таблица 3

Прогноз «Эксперт РА» по динамике портфеля потребительских кредитов

Показатель	2010	2011	2012
Темпы прироста портфеля потребительских кредитов, %	—	35	27–30

Источник: «Эксперт РА».

Динамика объемов продаж автомобилей. По данным Автостата и PwC, прогнозируется как снижение объемов продаж автомобилей, так и объемов продаж автомобилей в кредит. Это объясняется последствием второй волны экономического кризиса и снижением уровня доступности кредитов.

Таблица 4

Динамика продаж автомобилей, общая и в кредит

Показатель	2007	2008	2009	2010	2011	2012 (прогноз)
Общий объем продаж, тыс. шт.	2296	2708	1356	1780	2500	2300–2600
Объем продаж в кредит, тыс. шт.	1091	1256	327	637	1100	784
Доля продаж в кредит, %	47	46	24	36	44	32

Источник: Автостат и PwC.

Динамика объемов перевозок грузов железнодорожным транспортом. По данным Росстата, в 2011 г. наблюдалось снижение темпов роста объемов перевозок и прогнозируется, что в 2012 г. объем перевозок даже незначительно упадет.

Таблица 5

Динамика объемов перевозок грузов железнодорожным транспортом

Показатель	2007	2008	2009	2010	2011	2012 (прогноз)
Объем перевозок, млн т	1345	1304	1109	1312	1382	1360

Источник: Росстат.

Изменения в законодательстве. Как уже было отмечено ранее, некоторые изменения произошли уже в 2011 г. Так, корректировка поправочных коэффициентов в ОСАГО отразилась на увеличении темпов прироста взносов в этом виде страхования во втором полугодии 2011 г., а поправки в Кодекс торгового мореплавания отразились на росте премий в страховании ответственности владельцев водного транспорта за конец 2011 г.

Таблица 6

Изменения в нормативной базе, влияющие на динамику страховых взносов

Нормативно-правовой документ	Фактор, влияющий на премию	Влияние
Федеральный закон № 141-ФЗ от 14 июня 2011 г. «О внесении изменений в Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации»	Определена обязанность владельцев судов вместимостью более 1000 т страховать ответственность за загрязнение моря бункерным топливом и с 1 июля 2011 г. повышены лимиты ответственности по страхованию от загрязнения моря нефтепродуктами	Рост взносов по страхованию ответственности владельцев водного транспорта

Таблица 6
(*Окончание*)

Постановление Правительства РФ № 574 от 13 июля 2011 г. «О внесении изменений в страховые тарифы по обязательному страхованию гражданской ответственности владельцев транспортных средств, их структуру и порядок применения страховщиками при определении страховой премии»	С 18 июля 2011 г. изменены некоторые поправочные коэффициенты в ОСАГО	Рост взносов в ОСАГО
Федеральный закон № 371-ФЗ от 30 ноября 2011 г. «О федеральном бюджете на 2012 год и на плановый период 2013 и 2014 годов»	В бюджете на 2012 г. отдельной статьей выделены средства на страхование рисков и ответственности при запусках и летных испытаниях космических аппаратов	Рост взносов по страхованию космических рисков. Плановые расходы: 1973,8 млн руб. — на 2012 г., 2541,6 млн руб. — на 2013 г., 919 млн руб. — на 2014 г.

Источник: «Эксперт РА».

Статистические данные по транспортным видам страхования (2005–2011 гг.) приведены в табл. 7.

Таблица 7

Динамика страховых премий за 2005–2011 гг., млн руб.

Вид страхования	2007	2008	2009	2010	2011
Страхование автокаско	152 957	187 545	137 580	138 830	164 680
ОСАГО	72 480	80 194	85 740	91 650	103 430
ДСАГО	1462	1793	3920	4900	6550
Страхование грузов	13 595	12 184	15 530	18 430	22 030
Страхование авиационных рисков (имущественное + ответственности)	6819	7903	7330	8020	7890
Страхование водного транспорта (имущественное + ответственности)	4912	4555	5050	5340	5330
Прочие (страхование пассажиров, страхование железнодорожного транспорта, страхование ответственности перевозчика)	933	1144	1482	1946	1411
Итого	253 707	296 120	256 560	268 520	311 663

В итоге прогнозируемые показатели страховой премии сведены в табл. 8.

Таблица 8

Прогнозируемые объемы страховой премии в 2012 г.

Вид страхования	Прогнозируемая премия, млрд руб.
Страхование автокаско	171,2
ОСАГО	104,6
ДСАГО	6,9
Страхование грузов	22,2

Таблица 8
(*Окончание*)

Страхование авиационных рисков (имущественное + ответственности)	8,1
Страхование водного транспорта (имущественное + ответственности)	6,0
Прочие виды транспортного страхования	1,5
Итого	320,5

Список литературы:

1. http://www.fcsm.ru/ru/contributors/insurance_industry/statistic
2. http://www.fssn.ru/www/site.nsf/web/stat
3. http://www.raexpert.ru/ratings/insurance_rank/2011-I
4. http://www.raexpert.ru/researches/insurance
5. *Домнина О. Л.* Развитие транспортного страхования в РФ в период кризиса / О. Л. Домнина // Состояние и перспективы интеграции российского и международного страховых рынков: сб. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. по страхованию. — Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2010.

УДК 338.364 : 656.615.003

О. Н. Панамарева,
канд. экон. наук, доцент,
ФГБОУ ВПО « Государственный морской
университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова»

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ПРОГРАММНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

GEO-INFORMATIONAL SYSTEMS AND SOFTWARE-BASED TECHNOLOGIES IN OPERATING COMPLICATED TERRITORIAL-ECONOMIC PROCESSES

Исследованы признаки, структура автоматизированных систем управления пространственными процессами, составляющие и виды геоинформационных систем, определены основные проблемы процесса построения эффективных технологий сбора и обработки данных о прикладных процессах для ГИС.

The signs, the structure of automated control systems of three-dimensional processes, components and types of geo-information systems are investigated, the basic problems of the process of constructing the effective technologies of collection and data processing about the applied processes for GIS are determined.

Ключевые слова: геоинформационные системы, технологии, морской транспорт, пространственные, территориальные, экономические процессы, эффективность принятия решений.

Key words: geo-information systems, technologies, sea transport, dimensional, territorial, economic processes, effectiveness of decision making.

ОБЪЕКТИВНЫЙ рост и глобализация современной мировой экономики, качественное и количественное увеличение интенсивности транспортных потоков, существенное изменение масштабов компьютеризации систем управления (СУ) и мониторинга целого ряда территориальных, экономических, технических процессов обусловливают необходимость разработки и реализации новых научно обоснованных подходов, методов автоматизации и интеллектуальной поддержки управления этими процессами.

Постепенное усложнение средств мониторинга и непрерывное улучшение технического оснащения систем управления транспортными средствами, комплексами — системами, качественный рост возможностей современных компьютеров и компьютерных программ определяют новые задачи совершенствования систем управления территориально-экономическими процессами (ТЭП); что также требует решения вопросов глобальной интеллектуализации прикладного программного обеспечения (ППО) субъектов управления. Одно из наиболее перспективных направлений в решении этих аспектов — совершенствование методологических основ, исследовательского инструментария и базовых программных технологий интеллектуализации ГИС, используемых в составе ППО субъектов управления (территориально-экономическими системами). Актуальность исследования в указанной предметной области обусловлена следующими факторами (см. рис. 1).

Однако прежде чем изучать вышеуказанные аспекты, представляется необходимым начать проведение исследования с предварительного анализа сегодняшнего состояния отрасли геоинформационных систем и программных технологий, используемых при управлении территориально-экономическими процессами и системами. Осуществим содержательное раскрытие задач указанного анализа на основе рассмотрения базовых понятий, принципов и конструктивно-отличительных признаков существующих систем и технологий.

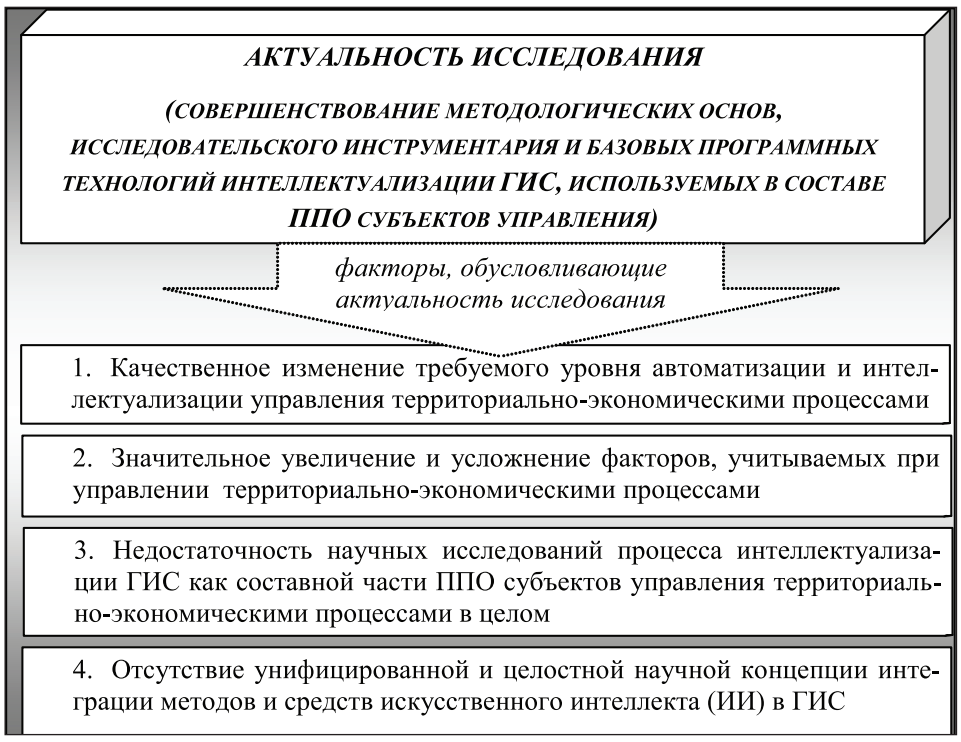


Рис. 1. Факторы, обусловливающие актуальность исследования путей совершенствования систем управления ТЭП

На основе классификации, представленной в работе [1], можно выделить из современного многообразия автоматизированных систем управления (АСУ) специфичный вид АСУ — автоматизированные системы управления пространственных процессов (АСУПП). Специфические признаки АСУПП представлены на рис. 2.

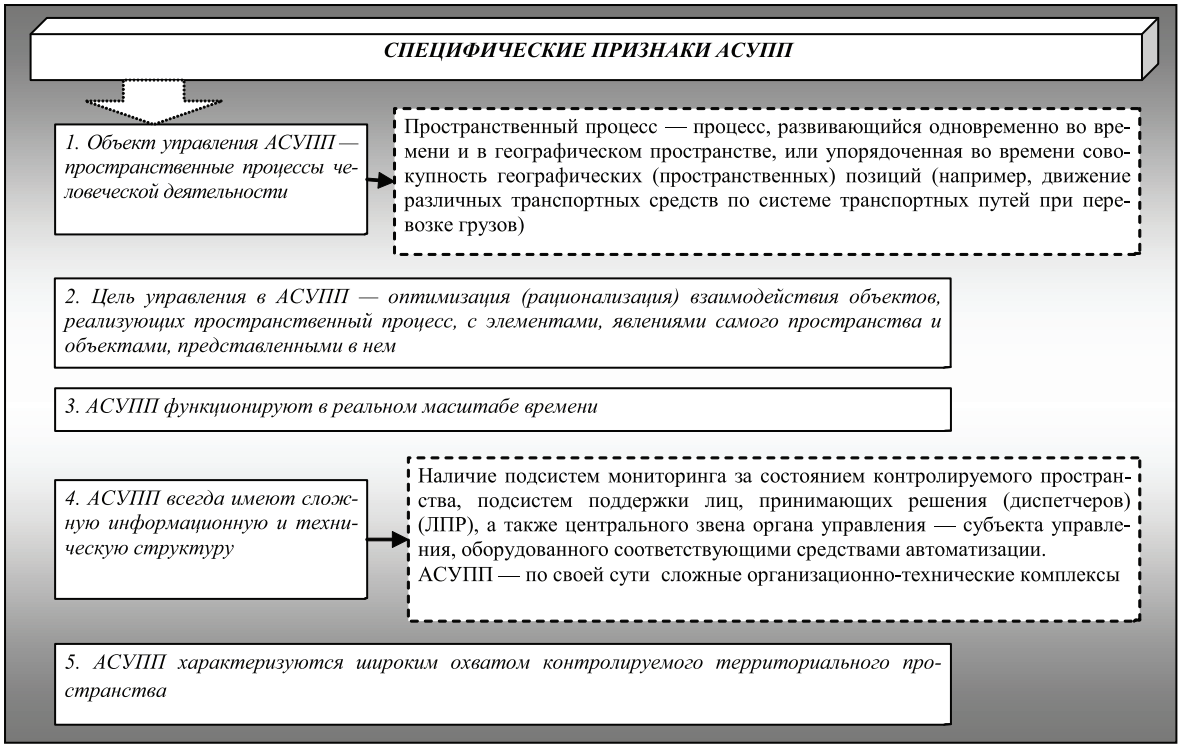


Рис. 2. Специфические признаки АСУПП

Стандартная структура АСУПП представлена на рис. 3.



Рис. 3. Стандартная структура АСУПП

В настоящее время технический характер решаемых функциональных задач в АСУПП дает возможность определить их как подкласс АСУ технологическими процессами. Так, согласно источнику [2] АСУПП можно детерминировать как синтез групп 425250 «Программно-технические комплексы диспетчерского контроля и управления группой технологических объектов» и 425270 «Программно-технические комплексы централизованного управления технологическим процессом, многофункциональные». На рис. 4 представлены примеры реализации АСУПП для самых различных территориально-экономических процессов.

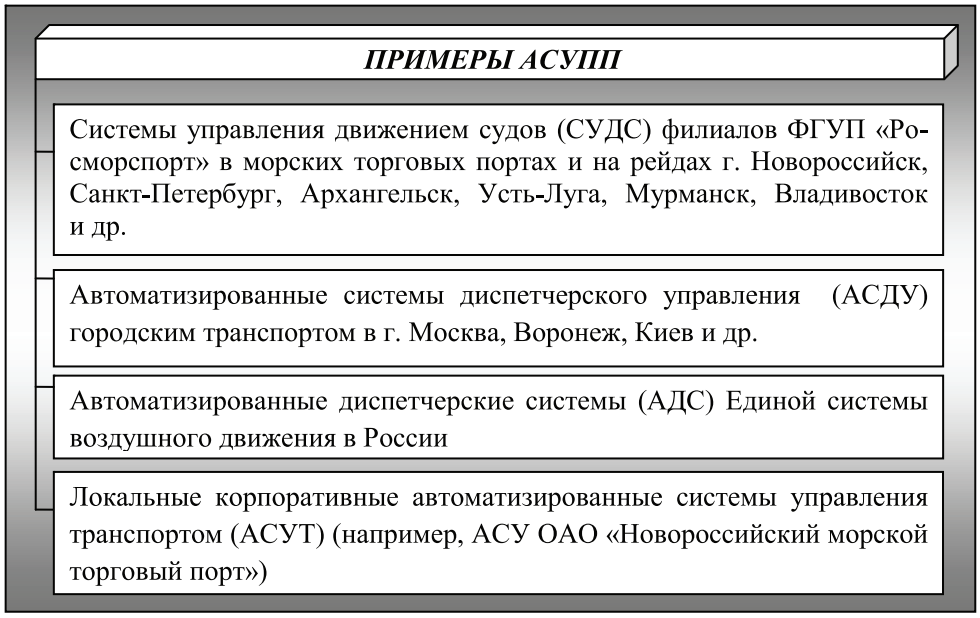


Рис. 4. Примеры АСУПП

Субъект управления, возглавляемый ЛПР, в АСУПП — центральное звено в принятии управленческих решений — сегодня предъявляет высокие требования к прикладному программному обеспечению поддержки управленческих решений. Стоящая перед субъектами управления на транспорте необходимость непрерывного анализа физико-географических, метеорологических (гидрологических) условий протекания территориальных процессов, моделирования их развития с учетом различных реальных фактов и событий, сопровождающих транспортный процесс, обусловила разработку и внедрение программных средств геоинформационных технологий (ГИТ) в составе прикладного программного обеспечения пунктов АСУПП. Следует отметить, что особенность геоинформационного представления ТЭП с учетом временно́го фактора состоит в использовании геоинформационных моделей. Исходя из этого, особое значение при представлении ТЭП имеет представление не только пространственного расположения, которое присуще традиционному, бумажному картографированию, но и временно́й изменчивости происходящих явлений, процессов, их состояния, структуры, взаимосвязей и в целом функционирования.

Прогресс прикладных программных технологий в сочетании с развитием телекоммуникаций, электронной техники, компьютерных сетей, средств обработки информации, методов управления базами данных и прикладного программного обеспечения способствовал тому, что за 25 лет процессы дистанционного зондирования и мониторинга объектов нашей планеты обрели реальную эффективность.

Так, изначально «производство» ГИС имело штучный характер, было дорогостоящим, сами ГИС — сложными в использовании. Кроме того, первые ГИС обладали достаточно ограниченными возможностями и не предназначались для широкого применения. Сегодня ситуация кардинально изменилась — представители современного поколения ГИС: во-первых, разрабатываются и выпускаются в промышленных масштабах множеством коммерческих компаний; во-вторых,

характеризуются достаточной экономичностью и простотой эксплуатации; в-третьих, обладают способностью качественно выполнять самые разнообразные функции; в-четвертых, используются как корпоративными, так и индивидуальными компаниями-потребителями; в-пятых, занимают значительный сегмент мирового рынка продукции информационных технологий (ИТ). Современные ГИС — это особо действенные информационно-технологические инструменты, обеспечивающие решение все большего количества практических задач в интересах АСУПП; при этом они уже претендуют на решение целого ряда задач, предъявляемых не только пространственными процессами, но и симбиозом территориальных и экономических процессов, то есть ТЭП. Примером могут служить такие области применения современных ГИС, как сельское хозяйство, управление природными ресурсами, природоохранная деятельность и экология, тематическое картографирование, управление наземным, воздушным и водным транспортом, проектирование, инженерные изыскания, планировка в строительстве, архитектуре, инвентаризация, учет, планирование размещения объектов распределенной производственной инфраструктуры и управление ими, управление земельными ресурсами, земельные кадастры и др. [3].

В общераспространенном понимании ГИС — это информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных. Она содержит данные о пространственных объектах в форме их цифровых представлений (векторных, растровых, квадротомических и других формах) [4; 5, с. 45–61]. Но при этом сущность ГИС определяется совокупностью программных и информационных средств, обеспечивающих не только вышеуказанные действия, но и математико-картографическое моделирование и образное интегрированное представление пространственных и соотнесенных с ними атрибутивных данных для решения проблем территориального планирования и управления (в том числе управления пространственными процессами). Существуют также возможности управления с помощью ГИС и интегрированными ТЭП, которые сегодня практически не выполняются и недостаточно исследованы.

В настоящее время использование ГИС субъектами управления АСУПП для решения ряда практических задач предполагает наличие составляющих, которые представлены на рис. 4.

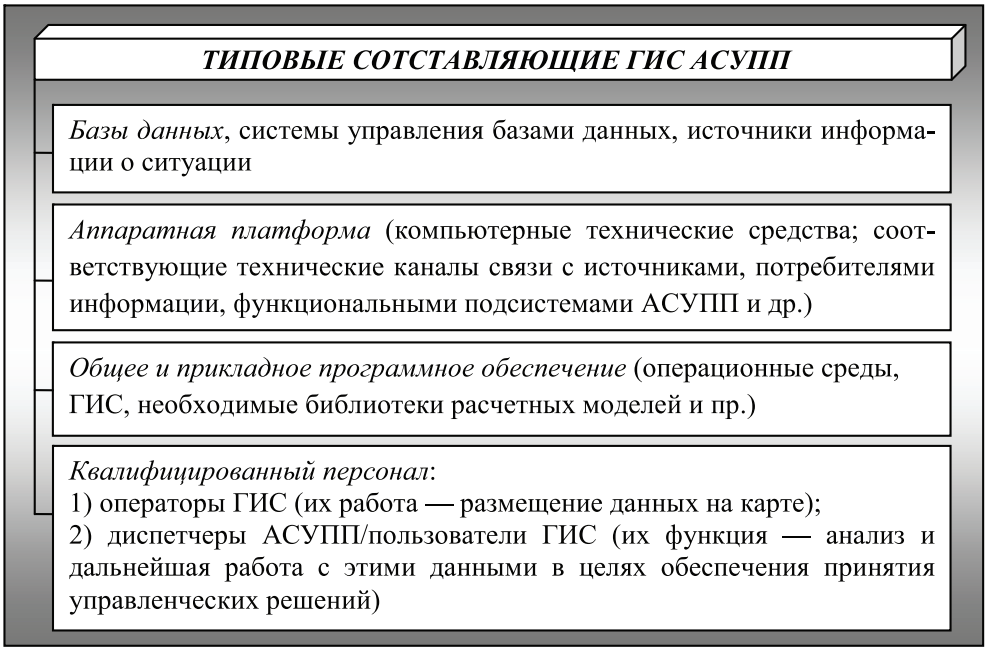


Рис. 5. Типовые составляющие ГИС АСУПП

Существуют самые разнообразные программные системы и отдельные программы, которые традиционно относят к ГИС. Разделить ГИС можно на следующие укрупненные группы (рис. 6).



Рис. 6. Виды ГИС АСУПП

Наиболее широкое распространение получили универсальные (или многофункциональные) ГИС, которые постепенно становятся неотъемлемой частью каждого автоматизированного рабочего места (АРМ) специалиста любой отрасли экономики (например, текстовый и графический редакторы, БД, электронные таблицы и др.). Наиболее известные и распространенные разработки сектора универсальных ГИС представлены в табл. 1, составленной на базе источников [6; 7].

Таблица 1

Основные характеристики универсальных ГИС

Название ГИС	Основные характеристики ГИС
1	2
Уровень применения ГИС	Корпоративный
ГИС ARC/INFO	Иностранная разработка (разработчик: Исследовательский центр Environment System Research Institute (ESRI), USA)
	Программные средства ARC/INFO работают на компьютерах и рабочих станциях различного типа под управлением операционной системы UNIX, на персональных компьютерах типа Apple Macintosh и PC. Структура ГИС ARC/INFO — несколько интегрированных модулей, предназначенных для работы как с векторной географической информацией (точки, ломаные линии, замкнутые контуры), так и с атрибутивной (текстовой) информацией, логически связанной с географической (пространственной)
ГИС MapInfo	Иностранная разработка (разработчик: Исследовательский центр Environment System Research Institute (ESRI), USA)
	Векторная система, в которой не поддерживаются основные топологические условия ARC/INFO. Картографическая информация в пределах слоя-таблицы (Table) организуется в виде отдельных графических примитивов — объектов (Objects). Возможности по редактированию карт, подготовке бумажных копий и др.; по созданию тематических карт, позволяющих формировать запросы к базам данных и получать отображение результатов на карте; в полуавтоматическом режиме составлять отчеты, состоящие из набора карт и легенд к ним, таблиц из баз данных и др. ГИС MapInfo — очень мощный механизм для анализа состояния окружающего пространства по данным мониторинга. Разработаны пакеты, работающие с форматами MapInfo (как пример — Vertical Mapper, позволяющий работать с трехмерными данными)
ГИС AutoCAD Map	Иностранная разработка (разработчик: фирма “Autodesk, Inc.”)

Таблица 1
(*Окончание*)

	Позволяет обрабатывать CAD-данные, более эффективно и наглядно решать практические задачи, классифицировать объекты, предоставляет расширенные возможности управления файлами реализации и их анализа. Инструменты модуля COGO, используемого для ввода данных в AutoCAD Map, необходимы при создании высокоточных карт и особенно эффективны при вводе геоданных. Функции его доступны при создании любого проекта в среде AutoCAD. Расширены возможности работы с площадными объектами. Все объекты карты, содержащие атрибутивные данные в формате DWG, могут храниться в БД Oracle Spatial. Конверторы файлов векторных форматов позволяют обращаться ко всем источникам данных, адресуя запрос с использованием ключей для интеграции соответствующих векторных данных. Поддерживается большое количество систем координат и картографических проекций, имеется возможность задавать объектам определенные свойства, идентифицировать объекты, управлять ими, выбирать объекты в соответствии с их описанием (дорога, река, море). Механизм визуализации аннотаций отображает текст на объектах карты. Можно задавать шаблоны аннотаций, основанные на свойствах текста и выражениях, использующих значения атрибутивных данных и/или свойств объектов. Имеет развитые функциональные возможности топологии: набор связей, который устанавливает, каким образом при выполнении пространственного анализа соотносятся друг с другом узлы, связи и многоугольники, трассировка сети, определение кратчайшего маршрута, выполнение оверлейных операций с полигонами и создание полигональных буферов
ГИС «НЕВА»	Отечественная разработка
	Создание (обновление), обработка векторных, растровых, матричных карт и подготовка их к оперативному изданию цифровыми методами. Результаты работы ГИС — исходная информация при оперативной печати отдельных карт-документов и при последующей печати тиражей топографических, авиационных и морских карт, которые могут служить входами системы управления базами данных электронных карт

Помимо универсальных ГИС, существуют также узкоспециальные ГИС (см. табл. 2) [8; 9, с. 35–38], применяемые в специфических предметных областях и требующие специального оборудования и методов обработки БД. Таким примером может служить сфера морской деятельности. Применение ГИС в АСУПП, связанных с морским транспортным процессом, характеризуется широким кругом задач (например, проведение уточняющей гидрографической съемки сложных фарватеров и районов; оперативное картодокументирование, обеспечение работы судовых и береговых навигационных систем для обеспечения безопасности судовождения и др.).

Таблица 2

Основные характеристики специализированных ГИС

Название ГИС	Основные характеристики ГИС
1	2
Уровень применения ГИС	Специфические предметные области
ГИС dKart Hydrographer	Отечественная разработка (разработчик: Российская компания «Моринтех» (C-Map))

Таблица 2
(*Продолжение*)

	Предназначена для гидрографической съемки с целью составления морских карт (векторных электронных и традиционных бумажных). Полная совместимость с технологией dKart построения цифрового гидрографического офиса сокращает время составления электронных карт формата IHO S-57 до нескольких часов. Минимальный аппаратный комплекс — персональный компьютер (переносной), приемоиндикатор GPS, эхолот с цифровым выходом и при необходимости принтер. Основные компоненты программной системы — модуль планирования гидрографической съемки; компонента сбора данных в реальном масштабе времени; программа обработки материалов промера. Программные средства семейства dKart Navigator ECS/ECDIS предназначены для максимально полного и оперативного отображения информации о навигационной обстановке (это позволяет оптимизировать принимаемые решения и сократить время их принятия, повысить безопасность судоходства и экономическую эффективность эксплуатации судов). Возможно использование официального формата IHO S-57, карт из мировой коллекции компании C-MAP, картографических данных Министерства обороны США — SXF. Предусмотрен ряд средств для оперативной корректуры карт, как автоматической, так и ручной на основе информации, поступающей по различным каналам связи (в том числе через Интернет). Развитый программный интерфейс
ГИС «Карта 2005»	Отечественная разработка (разработчик: компания “Transas Marin”)
	Характеризуется такими программно-техническими возможностями, как: 1) развитые средства редактирования векторных и растровых карт местности и нанесения прикладной графической информации на карту; 2) поддержка нескольких десятков различных проекций карт и систем координат, включая системы 1942 г., ПЗ-90, WGS-84 и др.; 3) поддержка всего масштабного ряда — от поэтажного плана до космонавигационной карты Земли (объем одной векторной карты может занимать несколько Тб; одной растровой/матричной карты — до 8 Гб); 4) построение трехмерных моделей местности, перемещение по ней в реальном масштабе времени (поверхность модели формируется с использованием векторных, растровых/матричных карт); 5) предусмотрено построение изображения объектов электронной карты, выбор текстур и материала покрытия; 6) дополнительно ГИС комплектуется блоком геодезических расчетов (для обработки данных, нанесения результатов вычислений на электронную карту и формирования отчетных документов по метрическим и атрибутивным данным); 7) поддерживается тематическое картографирование (то есть создание диаграмм изменения качественных и количественных характеристик, входящих в состав БД, с пропорциональным и непропорциональным распределением диапазонов значений этих характеристик). В ГИС обеспечено: производство расчетов на плоскости и в пространстве с учетом искажений проекций, кривизны Земли, трехмерных координат, матриц высот и качественных характеристик; выполнение оверлейных операций над множеством объектов; контроль топологической корректности данных; поиск и отбор объектов по значениям атрибутивных характеристик, размерам, пространственному положению относительно других объектов; работа с БД, настройка пользовательских форм, создание графиков, диаграмм, обработка связанных БД, подготовка и печать отчетов, широкие возможности по импорту-экспорту информации из других программных сред и систем, другие развитые варианты представления информации
ГИС «Метео», метео-ГИС «Оскар» и «Митра»	Отечественная разработка (разработчик: компания “Transas Marin”)

Таблица 2
(*Окончание*)

	Позволяют: 1) выбирать метеорологические параметры из базы данных и наносить их на карту в различных формах (изолинии, пуансоны и др.); 2) выбирать и наносить на карту в различных формах монтажи из снимков искусственных спутников Земли; 3) обозначать на слайде фронтальные линии и линии других типов; 4) строить на слайде траекторную модель по фактическим и прогностическим данным; 5) формировать сопровождающий текст к карте; 6) наносить на карту названия городов и/или индексы метеорологических станций; 7) совмещать на одной карте разные данные; 8) запоминать изготовленные бланки и карты для использования в дальнейшей работе; 9) строить карты автоматически по заданному расписанию; 10) просматривать на экране дисплея имеющиеся метеорологические карты; 11) выделять отдельные области карты для изображения их в укрупненном масштабе; 12) корректировать данные на карте; 13) выводить карты на печатающее устройство.

В условиях постоянного роста объема задач, реализуемых современными ГИС, и совершенствования базовых технологий стало возможным распределять геоданные в сетях (в том числе в Интернете) с одновременным созданием интерактивных сред взаимодействия клиента приложений с геоинформационным сервером. Реализация данных возможностей основана на новейших технологиях публикации баз данных в интранет-сетях. Технология взаимодействия с базой данных — наиболее критичная с позиции быстродействия геоинформационного веб-сервера (обычно такие серверы работают со структурами информации родственных ГИС-систем и только некоторые поддерживают форматы других ГИС). В табл. 3, составленной на базе источников [11], представлены характеристики распределенных ГИС.

Таблица 3

Основные характеристики специализированных ГИС

Название ГИС	Основные характеристики ГИС
1	2
Уровень применения ГИС	Распределенные сети
ГИС MGE (Modular GIS Environment)	Отечественная разработка
Продукт GeoMedia Web Map	Предназначен для публикации геоинформационных данных, содержащихся в проекте. Устанавливает новый стандарт для ГИС-технологии на основе нового векторного формата представления картографической информации active CGM. Предоставляет возможность создавать «снимки» геоданных динамически по мере их изменения в главном проекте. Позволяет публиковать не только данные родственной ГИС в среде GeoGraphics, но и данные любого другого проекта, базирующегося на технологии DGN-файлов (то есть MGE, FRAMME, MGE Data Manager, просто файлы в формате DGN, ARC/INFO, ARC/View)
Продукт ModelServer	Предназначен для организаций, работающих с геоинформационными и картографическими документами. По своим свойствам аналогичен описанному выше (отличие — в подходах к реализации: для работы клиента так же необходим любой браузер (Netscape Navigator или Microsoft Internet Explorer), дополнительный plug-in, позволяющий браузеру работать с сервером; в серверной части ModelServer базируется на Netscape Enterprise Server)

Прогнозируется бурное развитие распределенных ГИС в целом и в интересах АСУПП в частности. Особенное влияние окажет расширение коммуникационных возможностей и увеличение пропускной способности систем связи. Наиболее важным проектом в сфере распределенных ГИС является интернет-решение сервера картографической информации Google maps (например, новые веб-сервисы Google Maps и Google Earth)
Первые ГИС на базе платформы Google Earth уже широко используются метеорологами, геологами и археологами, диспетчерскими системами учреждений муниципального управления и служб городского хозяйства, органов здравоохранения и охраны общественного порядка, преподавателями школ и высших учебных заведений

Одним из перспективных направлений применения распределенных геоинформационных систем является создание мобильных ГИС (см. табл. 4) [12, с. 49–55; 13 p. 91–96]. Их использование существенно повышает качество управления пространственных процессов, позволяя уточнять специальную информацию (картографической или объектовой), координировать усилия мобильных служб и пр. Слияние технологий ГИС, GPS, GPRS позволяет определять местоположение, прокладывать оптимальный маршрут движения, производить контроль за движением объектов, их поиск и многое другое.

Таблица 4

Основные характеристики мобильных ГИС

Название ГИС	Основные характеристики ГИС
1	2
Уровень применения ГИС	Управление пространственными процессами
ГИС ArcPad с приемником GPS	Отечественная разработка. Позволяет непосредственно в полевых условиях обновлять существующие ГИС-данные, проводить сбор данных для ГИС, осуществлять навигацию по карте. Работает с векторными данными (шейп-файлами) и с растровыми (MrSID, JPEG, BMP, CADRG). Фоновая карта — растровая подложка (например, откалиброванный аэрофотоснимок или отсканированную схему либо векторные данные). Состав программного обеспечения — модуль расширения для ArcView (ArcPad Tools Extension), позволяющий создавать символы, формы и проекты ArcPad непосредственно в ArcView GIS для последующего их использования в полевых условиях. Формы и словари данных, привязанные к полям формы, создаются на этапе подготовки данных и позволяют существенно сократить время ввода атрибутивных данных на этапе съемки. Неограниченные возможности получения исходных данных с любого сервера, подключенного к сети Интернет. Возможность преобразования данных из одной системы координат в другую без изменения настроек приемника
ГИС NaviTel («Русса»), ГИС NaviTel	Отечественная разработка. Интуитивно понятный интерфейс, автоматическое определение протокола обмена, COM-портов, к которым подключен GPS-приемник, делают работу с ним простой и доступной. Позволяет легко позиционироваться в любой географической точке России и всего мира. Для этого предусмотрена возможность самостоятельного создания собственных карт с помощью картографического редактора GPSMapEdit, а также конвертирования и редактирования карт из форматов mif, shp, img, mp и др.

Исходя из вышесказанного, существующий комплекс современных ГИС позволяет обеспечить для субъектов управления АСУПП следующий ряд функциональных преимуществ в организации автоматизированного управления в основном пространственными процессами (см. рис. 7).

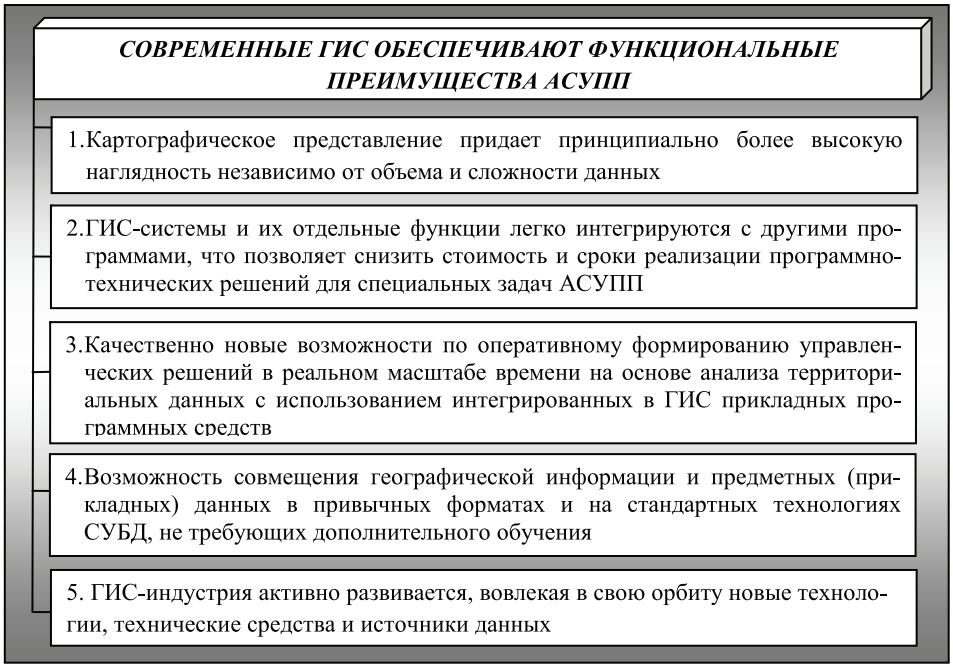


Рис. 7. Преимущества АСУПП при применении современных ГИС

Однако необходимо отметить, что развитие и эффективность использования ГИС в составе прикладного программного обеспечения АСУПП и АСУТЭП неразрывно связаны с проблематикой источников данных для геоинформационных систем. Как видно из типовой структуры АСУПП, на базе типовой структуры АСУПП (АСУТЭП слабо развиты и в сегодняшней форме больше похожи на АСУПП) можно выделить три принципиальных типа источников данных для ГИС (см. рис. 8).

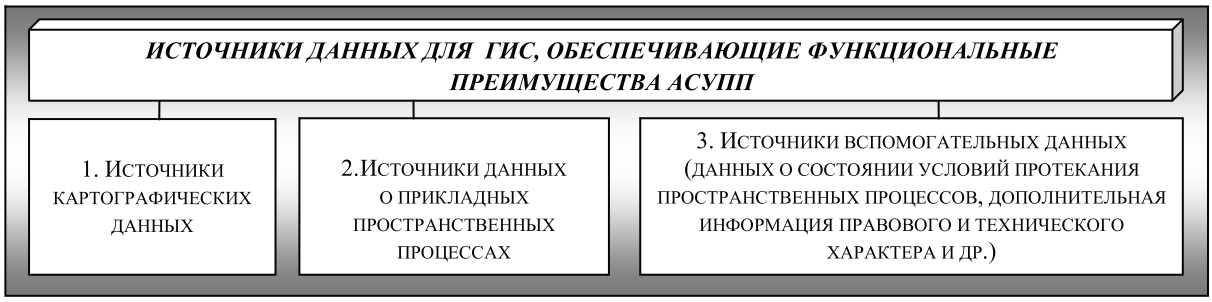


Рис. 8. Источники данных для ГИС, обеспечивающие функциональные преимущества АСУПП

Среди многообразных источников картографических данных можно выделить:
— традиционные топографические и тематические карты и планы;
— данные полевых измерений, данные дистанционного зондирования земли (ДЗЗ);
— различные табличные данные;
— данные статистических исследований;
— данные, полученные в форме фотографии, видеосъемки и др.

Технологии сбора и обработки пространственных данных непрерывно эволюционируют (например, технологии по работе с ДЗЗ и лазерным сканированием). Они быстро развиваются и предлагают мощные средства для сбора и анализа пространственной информации с сокращением затрат по сравнению с традиционными технологиями. Картографические данные на интенсивно используемых территориях имеют тенденцию к быстрому старению. При этом возникают

серьезные претензии к актуальности и полноте данных. Зарубежный опыт показывает, что новые технологии (ДЗЗ, трехмерное сканирование, использование КПК, GPS, GPRS и др.) постепенно вытесняют традиционные методы на этапах мониторинга и обновления данных. При этом значительно сокращаются как сроки проведения работ по актуализации и обновлению данных, так и их стоимость.

Построение эффективных технологий сбора и обработки данных о прикладных процессах для ГИС наталкивается на три основные проблемы. Эти проблемы стали актуальными в последнее десятилетие ввиду многократного увеличения объемов обрабатываемой информации на компьютерах АСУПП и АСУТЭП, где имеют дело с задачами принятия оперативных решений в потоке разнородной информации. Эти проблемы можно сформулировать в следующем виде (см. рис. 9).



Рис. 9. Основные проблемы процесса построения эффективных технологий сбора и обработки данных о прикладных процессах для ГИС

Осуществленное исследование охватывает наиболее существенные разработки и значимые аспекты в развитии ГИС-программной индустрии в интересах АСУПП и АСУТЭП. Оно осущест-

влено для демонстрации всего многообразия возможностей, предоставляемых современными ГИС-технологиями, для автоматизации процессов принятия решений субъектами управления (АСУПП и АСУТЭП) в экономике транспорта. Вместе с тем разработка, внедрение и применение ГИС в составе программного обеспечения АСУПП и АСУТЭП должны отвечать ряду специфических требований, определяемых обобщенными целями и наиболее типовыми функциональными задачами управления территориально-экономическими объектами (системами) морского транспорта в частности и транспортного комплекса РФ в целом.

Список литературы

1. ОРММ-3 АСУТП Общеотраслевые руководящие методические материалы по созданию и применению автоматизированных систем управления технологическими процессами отраслях промышленности [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: http://www.normacs.ru (дата обращения: 02.02.2012).

2. *Каракин В. П.* Региональные геоинформационные системы / В. П. Каракин, В. Кошкарев. — М.: Наука, 1993. — 352 с.

3. Географическая информационная система [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: http://www.wikipedia.org/wiki (дата обращения: 05.06.2012).

4. *Попович В. В.* Геоинформационная система для комплексов мониторинга: [текст] / В. В. Попович [и др.] // Тр. СПИИРАН. — СПб.: Наука, 2006. — Вып. 3, т. 1. — 480 с.

5. *Попович В. В.* Интеллектуальная ГИС в системах мониторинга / В. В. Попович [и др.] // Тр. СПИИРАН. — СПб.: Наука, 2006. — Вып. 3, т. 1.

6. *Куликовский Л. Ф.* Теоретические основы информационных процессов / Л. Ф. Куликовский, В. В. Мотов. — М.: Высш. шк., 1999. — 264 с.

7. *Липаев В. В.* Обеспечение качества программных средств. Методы и стандарты / В. В. Липаев. — М.: МГТУ «Станкин», 2000. — 302 с.

8. *Луков Вал. А.* Тезаурусы. Субъективная организация гуманитарного знания / Вал. А. Луков, Вл. А. Луков. — М.: Изд-во Нац. ин-та бизнеса, 2008. — 784 с.

9. *Нестеров Н. А.* Общие сведения о морских информационных системах / Н. А. Нестеров // Записки по гидрографии. — 2007. — № 270.

10. *Buehler K.* The OpenGIS Guide. Introduction to Interoperable Geoprocessing and the OpenGIS Specification / K. Buehler, Mc. KeeL // OGC Technical Committee of the Open GIS Consortium. — Wayland (MA), 1998.

11. *Наумов В. Н.* Информационная технология корабельных АСУ: [текст] / В. Н. Наумов, Я. А. Ивакин. — Петродворец: ВМИРЭ, 2001. — 142 с.

12. *Нестеров Н. А.* Методы определения координат с использованием глобальной позиционной системы при проведении гидрографических работ / Н. А. Нестеров // Записки по гидрографии. — 2008. — № 272.

13. *Popovich V.* Data for Geographic Information Systems: [text] / V. Popovich, A. Pankin, Y. Ivakin // 11th International Conference on Urban Regional Development in the in information society (CORP 2006): proc., February 12–16. — Vien, 2006.

УДК 629.12

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

М. Л. Ивлев,
канд. техн. наук,
филиал «СевмашВТУЗ»
СПГМТУ;

И. В. Приходько,
аспирант,
СПГУВК

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ВНЕДРЕНИЯ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ СУДОРЕМОНТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

ECONOMIC BENEFIT OF INTRODUCTION OF THE TECHNIQUE OF FORECASTING OF THE POWER CONSUMPTION OF THE SHIP-REPAIR ENTERPRISE

Показано, что внедрение разработанной и обоснованной методики прогнозирования величины заявленной мощности судоремонтного предприятия позволяет добиться экономического эффекта в виде снижения оплаты за заявленную мощность.

It is shown that introduction of the developed and well-founded technique of forecasting of size of the declared capacity of the ship-repair enterprise allows to achieve economic benefit in the form of decrease in payment for the declared capacity.

Ключевые слова: экономический эффект, методика прогнозирования, заявленная мощность, судоремонтное предприятие, снижение оплаты.

Key words: economic benefit, the forecasting technique, the declared capacity, the ship-repair enterprise, payment decrease.

В РЫНОЧНОЙ экономике эффективность мероприятий по планированию, оптимизации и управлению электропотреблением определяется достоверностью выявленных тенденций изменения графиков нагрузки как отдельных узлов системы электроснабжения судоремонтного предприятия, так и графиков нагрузки предприятия в целом, их взаимной коррелированности.

Характерной особенностью судоремонтных предприятий является существенная зависимость графиков электрической нагрузки системы электроснабжения от характера технологического процесса, этапа выполнения производственного графика, зоны рабочей смены, потребителей электроэнергии, подключенных к узлам нагрузки системы, их мощности, количества и режимов работы. Кроме того, наблюдается также взаимная зависимость изменения графиков нагрузки узлов системы электроснабжения, что объясняется взаимной согласованностью всех этапов производственного процесса.

Практически значимые результаты прогнозирования выражаются в первую очередь в экономическом эффекте от его внедрения. Экономический эффект проявляется в снижении оплаты величины заявленной мощности предприятия; величины заявленной мощности при этом корректируются на основе прогнозирования.

Величина оплаты заявленной мощности может быть определена как произведение мощности (кВт) на действующий тариф (руб./кВт) и умножением полученного результата на коэффициент, соответствующий налогу на добавленную стоимость (НДС).

Рассмотрим динамику изменения оплаты заявленной мощности за период 2002–2005 гг. Действовавшие в указанный период тарифы на оплату мощности приведены в табл. 1.

Таблица 1

Тарифы на оплату мощности

Тариф, руб./кВт (без НДС)		Период			
		2002 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.
Уровень напряжения	ВН (110 кВ)	158,0	179,172	179,17	233,91
	СН 2 (10 кВ)			201,02	258,73
Величина НДС, %		20	20	18	18

За базу для определения экономического эффекта возьмем величину заявленной мощности за 2002 г., которая определялась без применения методики прогнозирования. Заявленная мощность за год составила 199 000 кВт, что соответствует среднемесячной величине 16 583,3 кВт (при этом максимальная месячная величина имела место в январе и составила 19 000 кВт, минимальная — в июле, 13 000 кВт). По действующему на тот момент тарифу величину годовой оплаты за мощность в 2002 г. определим как:

$$C_{2002(\text{Т-}2002)} = [P_{\text{з}(2002)} \cdot T_{2002}] \cdot 1{,}20,$$

где $C_{2002(\text{Т-}2002)}$ — сумма затрат на мощность за 2002 г. по тарифу 2002 г.; $P_{\text{з}(2002)}$ — годовая величина заявленной мощности за 2002 г.; T_{2002} — тариф на оплату заявленной мощности на 2002 г.; 1,20 — коэффициент, соответствующий величине НДС (20 %).

Таким образом, величина $C_{2002(\text{Т-}2002)}$ составила 37 730 400 руб.

Величина заявленной мощности на 2003 г. устанавливалась с применением методики прогнозирования и составила 184 000 кВт, что соответствует среднемесячной величине 15 333,3 кВт (при этом максимальные месячные величины имели место в январе и декабре и составили 18 000 кВт, минимальная — в июле, 11 300 кВт). Определим затраты на оплату заявленной мощности в 2003 г.:

$$C_{2003(\text{Т-}2003)} = [P_{\text{з}(2003)} \cdot T_{2003}]\ 1{,}20 = 39\ 561\ 178 \text{ руб.}$$

Для определения экономического эффекта, достигнутого в 2003 г. за счет снижения платы за заявленную мощность, вычислим, сколько составляли бы затраты без использования методики прогнозирования (при этом следует учесть, что объемы производства в 2002 и 2003 гг. примерно одинаковы):

$$C_{2002(\text{Т-}2003)} = [P_{\text{з}(2002)} \cdot T_{2003}] \cdot 1{,}20 = 42\ 786\ 274 \text{ руб.}$$

Экономический эффект определим как разность между величинами $C_{2003(\text{Т-}2003)}$ и $C_{2002(\text{Т-}2003)}$:

$$Э_{2003} = C_{2002(\text{Т-}2003)} - C_{2003(\text{Т-}2003)} = 3\ 225\ 096 \text{ руб.},$$

или 268 758 руб. в среднем в месяц.

Величина заявленной мощности на 2004 г. также устанавливалась с применением методики прогнозирования и составила 183 400 кВт, что соответствует среднемесячной величине 15 283,3 кВт (при этом максимальные месячные величины имели место в январе и декабре и составили

18 000 кВт, минимальная — в июле, 12 000 кВт). Определим затраты на оплату заявленной мощности в 2004 г.:

$$C_{2004(\text{Т-}2004)} = \left[P^{\text{ВН}}_{3(2004)} \cdot T^{\text{ВН}}_{2004} \cdot P^{\text{СН}}_{3(2004)} \cdot T^{\text{СН}}_{2004} \right] \cdot 1{,}18,$$

где $P^{\text{ВН}}_{3(2004)}$ — годовая доля заявленной мощности, приходящаяся на уровень высокого напряжения (110 кВ); T^{BH}_{2004} — тариф оплаты мощности по уровню высокого напряжения; $P^{\text{СН}}_{3(2004)}$ — годовая доля заявленной мощности, приходящаяся на уровень среднего напряжения (10 кВ); $T^{\text{СН}}_{2004}$ — тариф оплаты мощности по уровню среднего напряжения; 1,18 — коэффициент, соответствующий величине НДС (18 %).

Таким образом, величина $C_{2004(\text{Т-}2004)}$ составила 39 743 463 руб.

Плата за величину мощности 2002 г. по тарифам 2004 г. $C_{2002(\text{Т-}2004)}$ составила бы 43 099 238 руб. Величина экономического эффекта за 2004 г. составила

$$Э_{2004} = C_{2002(\text{Т-}2002)} - C_{2004(\text{Т-}2004)} = 3\ 355\ 775 \text{ руб.},$$

или 279 648 руб. в среднем в месяц.

Величина заявленной мощности на 2005 г., установленная с применением методики прогнозирования, составила 183 500 кВт, что соответствует среднемесячной величине 15291,6 кВт (при этом максимальные месячные величины имели место в январе и декабре и составили 18 000 кВт, минимальная — в июле, 12 000 кВт). Затраты на оплату мощности в 2005 г. составили $C_{2005(\text{Т-}2005)}$ = 51 494 944 руб. При заявленной мощности на уровне 2002 г. затраты составили бы $C_{2002(\text{Т-}2005)}$ = 56 092 393 руб. Величина экономического эффекта за 2005 г. составила

$$Э_{2005} = C_{2002(\text{Т-}2005)} - C_{2005(\text{Т-}2005)} = 4\ 597\ 449 \text{ руб.},$$

или 383 121 руб. в среднем в месяц.

Таким образом, можно сделать вывод об экономической целесообразности установления величин заявленной мощности с использованием методики прогнозирования; при прочих практически равных условиях ее применение дает экономию денежных средств в размере 3–5 млн руб. в год, или 250–400 тыс. руб. в месяц.

Предложена методика установления величины заявленной (плановой) активной мощности предприятия на ближайшие расчетные периоды.

Внедрение предложенной методики прогнозирования позволяет достигать значительного экономического эффекта и избегать применения к предприятию штрафных санкций со стороны энергоснабжающей организации (за отклонение фактических объемов потребления мощности от плановых, то есть от заявленной мощности), а также позволяет повысить общий уровень оперативно-диспетчерского управления энергохозяйством судоремонтного предприятия.

На основе проведенных исследований разработан комплекс мероприятий, совокупность которых направлена на совершенствование процесса управления электроснабжением судоремонтного предприятия. В работах [1, с. 67–73; 2, с. 103–108; 3, с. 263–265; 4, с. 16–19] разработана и обоснована методика прогнозирования величины заявленной мощности судоремонтного предприятия, внедрение которой позволяет добиться экономического эффекта в виде снижения оплаты заявленной мощности.

Список литературы

1. *Приходько В. М.* Методика прогнозирования электропотребления судоремонтного предприятия / В. М. Приходько, М. Л. Ивлев, И. В. Приходько // Журнал университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2012. — Вып. 1 (13).

2. *Приходько В. М.* Прогнозирование электропотребления судоремонтным предприятием / В. М. Приходько, М. Л. Ивлев, И. В. Приходько // Журнал университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2012. — Вып. 2 (14).

3. *Ивлев М. Л.* Разработка методики прогнозирования электропотребления промышленного предприятия / М. Л. Ивлев, А. И. Черевко // Вестник Уральского гос. техн. ун-та–УПИ. — Екатеринбург, УГТУ–УПИ, 2003. — Ч. 2. — № 5 (25): Электромеханические и электромагнитные преобразователи энергии и управляемые электромеханические системы.

4. *Ивлев М. Л.* Прогнозирование электропотребления промышленного предприятия / М. Л. Ивлев, А. И. Черевко // Вопросы технологии, эффективности производства и надежности: сб. ст. — Северодвинск: РИО Севмаш ВТУЗа, 2004. — Вып. 20.

УДК 336.1

О. В. Малиновская,
д-р экон. наук, профессор,
СПГУВК;

И. П. Скобелева,
д-р экон. наук, профессор,
СПГУВК

УНИВЕРСИТЕТЫ В СИСТЕМЕ МОДЕЛЕЙ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ ЭКОНОМИКИ

UNIVERSITY IN THE MODELS OF INNOVATIVE ECONOMIC DEVELOPMENT

Статья посвящена характеристике моделей инновационного развития экономики, переходу транспортной отрасли России к модели «тройной спирали», преобразующей статус современных российских транспортных университетов как носителей инновационного потенциала.

The article is devoted to the models of innovative economic development and the processes of transition of the Russian model of innovation to the model of the "triple helix", transforming the status and image of the modern Russian universities, which is able to meet the demands of the postindustrial.

Ключевые слова: транспорт, модели инновационного развития, модель тройной спирали, отраслевые (транспортные) университеты.

Key words: innovation, innovative models of development, national innovation model, the triple helix.

ИННОВАЦИОННОЕ развитие транспортной отрасли экономики России в существенной степени определяет конкурентоспособность страны на мировом экономическом пространстве. Несмотря на активизацию инвестиционных процессов в транспортной отрасли в последние годы, инновационный вектор развития транспорта пока недостаточно просматривается. Модель инновационного развития транспорта подчиняется общим закономерностям инновационной экономики, исследованию которых уделяется значительное внимание во всех развитых и развивающихся странах.

Сегодня любая национальная экономика сталкивается с альтернативой: либо страна финансирует национальные научные школы, либо развивает другие страны, предоставляя им свой рынок для экспансии их инноваций. Россия, в том числе ее транспортная отрасль, пока преимущественно реализует последний путь инновационного развития.

Эволюционный процесс развития инноваций в мировой практике устойчиво идентифицирует определенные условия для их эффективного становления и развития.

1. Выраженная общественная потребность в инновационном развитии, отсутствие которого ведет к деиндустриализации экономики, с одной стороны, а с другой — к стагнации и деградации общественной жизни и развития личности.

2. Консенсус в приоритетах инновационного развития между всеми участниками инновационного процесса или, выражаясь языком крупнейшего специалиста в сфере инноваций Генри Ицковица, «пространство достижения согласия», под которым он понимает нейтральную территорию в регионе (стране), «где представители разных организаций с разными исходными позициями и перспективами могут собраться вместе, чтобы разработать способы поддержки новых идей ускорения экономического и социального развития. Возможности такого развития определяются с помощью анализа интеллектуальных ресурсов региона (страны). Сам процесс включения представителей разных институциональных сфер в качестве участников в дискуссию по разработке стратегий и планов развития уже дает доступ к ресурсам, необходимым для выполнения конечного плана». Реализация данного условия базируется на необходимости преобладания функционального аппарата государства, поскольку требует отсутствия административных барьеров для ведения бизнеса и трансфера технологий, обеспеченности экономики финансами, лояльности к инновациям правовой, финансовой и налоговой систем.

3. Создание пространства знаний, то есть концентрация соответствующей деятельности по выполнению НИОКР. Наличие «критической массы» исследований на какой-то ограниченной территории, как было доказано практикой, является необходимым условием для экономического развития региона (страны), опирающегося на научные знания. Это условие требует развития высокого качества всех ступеней образования, достаточного уровня финансирования науки (3–5 % от ВВП). Применительно к России этот тезис и одновременно условие приобретают принципиальное значение, поскольку в открытой глобальной экономике непродуктивно экономить на финансировании науки. Результатом подобной экономии является высокая, вплоть до критической, зависимость инновационной траектории развития страны от мировой инновационной индустрии, коммерческий успех которой активно обеспечивается странами со скромным финансированием науки.

Реализация названных условий в мировом сообществе осуществляется с преобладанием институциональных механизмов развития инноваций, к которым прежде всего относятся формирование нормативной базы инноваций и разработка инновационных программ. Представим некоторую характеристику развития этих направлений в мировой практике (табл. 1).

Таблица 1

Нормативно-правовая база развития инноваций за рубежом

Страна	Законодательные акты	Целевые параметры
США	1. Закон «О государственной научно-технологической политике, организации и приоритетах»	Определяет цели, задачи и основные приоритеты научно-технологической политики США, а также правовые принципы создания и организации финансовой деятельности основных органов государственной власти, участвующих в реализации научно-технической политики
	2. Закон Стивенсона–Уайдлера «О технологических инновациях»	Содержит широкий комплекс административно-управленческих и иных мер по реализации долгосрочной программы развития инновационно-технологической деятельности и создания благоприятной среды для развития взаимовыгодной кооперации между частным и государственным секторами. Его основная цель — стимулирование более эффективного использования финансируемых федеральным правительством и осуществляемых частным сектором технологических разработок, включая изобретения, программное обеспечение, учебные технологии

Таблица 1
(*Окончание*)

	3. Закон Бэя–Доула	Предоставляет университетам, некоммерческим организациям и малым предприятиям права собственности на объекты интеллектуальной собственности, созданные за счет бюджетного финансирования, при условии, что такие организации содействовали и будут содействовать процессу коммерциализации путем предоставления лицензии на использование инноваций коммерческим предприятиям
	4. Закон «О развитии инновационной деятельности в малом бизнесе»	Основными целями являются: 1) стимулирование технологических инноваций; 2) использование потенциала малого бизнеса для реализации федеральных заказов на выполнение НИОКР; 3) содействие в привлечении талантливых людей к разработке технологических инноваций; 4) помощь частному сектору в коммерциализации научно-технических достижений по результатам НИОКР, выполненных по федеральным заказам; 5) вовлечение малых предприятий в квалификационный перечень фирм США, работающих в инновационной сфере для удовлетворения национальных потребностей в специальных исследованиях и разработках
Япония	1. Закон «О поддержке инновационной деятельности в МСП»	В рамках закона оказывается финансовая, техническая, аутсорсинговая, консультационная помощь венчурным и инновационным МСП, намеренным использовать новые методы производства или управления либо производить новые продукты или услуги, а также осуществляющим НИОКР в соответствии с национальными приоритетами экономического развития
	2. Закон «О поддержке инновационного бизнеса в МСП»	В соответствии с данным законом местная кредитная организация предоставляет МСП долгосрочные займы сроком до 20 лет по льготным процентным ставкам
Франция	1. Закон «О научных исследованиях»	Устанавливает законодательные основы взаимоотношений между государством и гражданами при проведении исследований

В настоящее время многие европейские страны — Австрия, Бельгия, Дания, Франция, Германия, Португалия, Испания и Великобритания — закрепили правовую модель, в соответствии с которой исключительные права на объекты интеллектуальной собственности принадлежат организации-работодателю. Это обусловлено, во-первых, необходимостью стимулирования процессов передачи прав на результаты интеллектуальной деятельности, созданные за счет или с привлечением бюджетных средств, от научных организаций и университетов в промышленность и транспорт для цели ускорения коммерциализации таких результатов, а во-вторых, большими профессиональными возможностями исследовательских организаций для коммерциализации инновационных разработок.

Формирование законодательной базы сопровождается разработкой национальных программ развития инноваций. В качестве примеров таких программ можно назвать разработанные правительством Великобритании национальную долгосрочную «Стратегию развития науки и инноваций на 2004–2014 гг.» (Science&Innovation Investment Framework 2004–2014) и Белую книгу «Инновационная нация» (Innovation Nation White Paper, 2008), французские «План по развитию инноваций» (2003) и «Общенациональную программу действий в области научно-технологичес-

кого развития» (2005), американскую программу «Национальная инициатива по конкурентоспособности: мировое лидерство по инновациям» (2006), японский третий план развития науки и технологий на 2006–2010 гг.

Институциональное обеспечение инновационного развития предопределяет характеристики современных моделей развития инноваций (рис. 1).

Современный этап инновационного развития свидетельствует о формировании и продвижении новой модели инновационной системы — «тройной спирали» (Triple Helix), разработанной Генри Ицковицем и Лойетом Лейдесдорфом, отличной как от модели НИС[1], в которой главным двигателем инноваций являлись фирмы, так и от модели «треугольника» Г. Сабато, исходящей из доминантной роли государства в процессе инновационного развития.

Возникновение концепции и мировая практика развития модели инновационного развития «тройной спирали» обусловлены существенными изменениями в науке, экономике и политике, к которым следует отнести:

1. Смену «ведущего звена» во взаимоотношениях субъектов процесса создания инноваций, роль которого стали выполнять университеты. Приоритетные позиции университетов определяются высоким уровнем неопределенности, свойственным инновациям, и сосредоточением в них молодых людей, усилиями которых можно построить новую экономику. Таким образом, в модели «тройной спирали» обосновывается главенство университета в триаде, университет становится главной движущей силой инновационного развития. Безусловно, университеты не должны быть противопоставлены другим лицам — создателям и обладателям интеллектуальной собственности. Однако прежде всего именно в университетах следует концентрировать ресурсы, необходимые для развития инновационных процессов, массовой генерации молодых инноваторов, а также принадлежащих им высокотехнологичных предприятий.

2. Необходимость организации эффективных форм взаимодействия трех субъектов развития инноваций (науки, бизнеса, государства) и создания новой основы построения этих связей — сетей коммуникаций. Известно, что эффективность сетевой организации любой деятельности состоит в том, что ее результат мультипликативно возрастает при росте масштабов сети. Формирование сети коммуникаций в инновационных процессах предполагает необходимость преобразования функций университетов, государства и фирм в инновационном развитии [6].

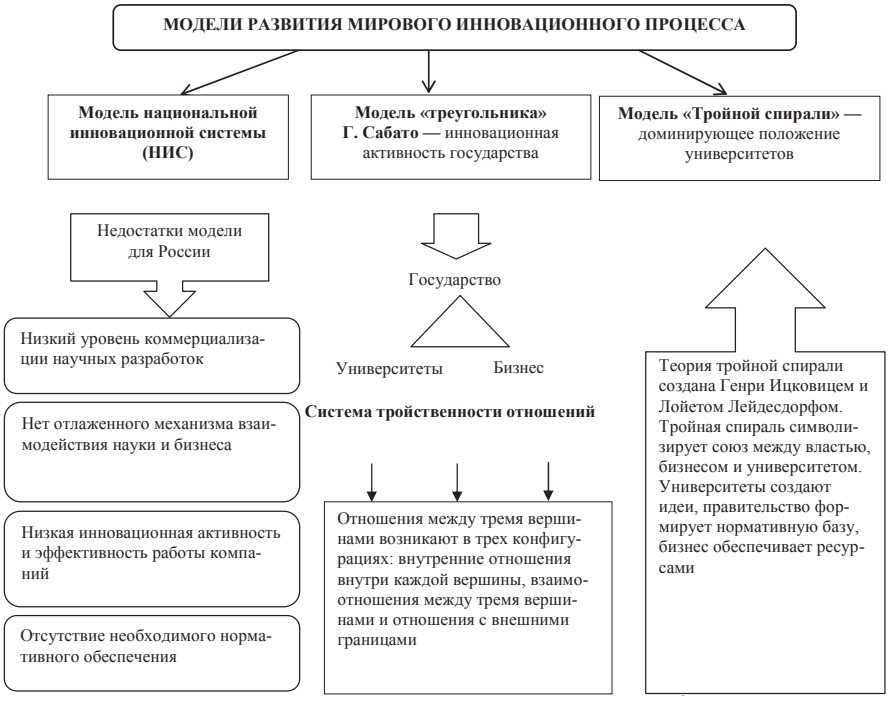


Рис. 1. Основные модели развития мирового инновационного процесса

[1] Под термином НИС (национальная инновационная система) рассматривается программа развития инноваций в России.

3. Развитие глобализации, основанной на международной интеграции, которая проявляется по-разному, но прежде всего через деятельность транснациональных корпораций, наднациональных союзов и альянсов. Функции организации и управления инновационной деятельностью, ранее выполнявшиеся государством на основе иерархических структур, меняются как по исполнителям, так и по механизмам. Когда экономика приобретает черты экономики знаний, главными изменениями в ее свойствах становятся включение науки в сферу производственных интересов и стимулов фирм. В этих условиях необходим новый способ производства знаний, нашедший отражение в концепции «предпринимательского университета», разработанной Генри Ицковицем, который принципиально отличается от традиционного, рассматривающего научную деятельность как процесс, структурированный научными дисциплинами и связями научных школ.

4. По мнению авторов модели «тройной спирали» и других исследователей в сфере образования, сегодня происходит академическая революция. Помимо образования и проведения научных исследований, университеты провозгласили третью миссию — быть активным игроком в экономическом развитии через создание научных технологических знаний и инноваций.

Эволюция инновационной системы происходит в условиях столкновения двух не тождественных друг другу векторов ее развития (исследований и их прикладного использования), что зеркально отражается в отношениях между двумя крупнейшими участниками инновационной деятельности — фирмами и научными организациями/университетами [5]. В модели «двойной спирали» в условиях этих столкновений (для их преодоления) неизбежно появление третьего участника — государства. Формы взаимодействия между тремя институтами такой инновационной системы претерпевают перманентные изменения; функции каждого элемента «спирали» в реальном историческом контексте менялись и продолжают меняться.

Модель «тройной спирали» организована в соответствии с принципами пересечения трех континуумов отношений, при этом каждый из институтов модели участвует и обеспечивает систему производства знаний за счет создания гибридных институциональных форм, снижающих неопределенность инновационной деятельности и ответственных за создание нового знания. Логика развития науки, рождающей все больше синтетических направлений, которые включают как фундаментальные, так и прикладные исследования междисциплинарного характера и разработки, привела к образованию «кластеров», формирующих будущий потенциал инновационного развития (био- и нанотехнологии, информационные технологии), а связи между учеными, технологами и пользователями становятся качественно другими.

Представим характерологические особенности становления университета как центра инновационного кластера и его функционал в системе развития инноваций, обусловленный сетевым характером связей между акторами инновационной деятельности[1].

Во-первых, превращение университета в открытую систему, функционирующую во взаимосвязи со всеми акторами инновационного процесса, меняет систему взаимоотношений между университетом, с одной стороны, и государством и бизнесом — с другой.

1. Отношения бизнеса и открытого университета строятся на принципиально измененных финансовых условиях. Так, общей тенденцией в развитых странах является достижение высокого уровня финансирования инноваций, разрабатываемых на базе университетов, частным сектором экономики. В странах-лидерах, например в США, частный сектор обеспечивает до 75 % расходов на исследования и разработки, а на долю ста ее крупнейших международных корпораций приходится 90 % этой суммы [6].

2. Отношения государства и открытого университета строятся на принципиально новых управленческих основах, прежде всего касающихся изменения системы контроля. В рекурсивной системе контроля государство не может воздействовать на университеты директивным образом и неизбежно переходит к типу отношений, который может характеризоваться как партнерство

[1] Теория «тройной спирали» разрабатывается на основе институциональной экономической теории, поэтому для описания ее участников и их роли используется термин «акторы», подразумевающий для взаимодействующих институтов или индивидуумов наличие не только экономических стимулов, но и других интересов.

или социальный договор. Отсюда появляется возможность тесного и интенсивного общения между всеми партнерами в ходе принятия решений, гибкой коррекции и мониторинга реализации программ/проектов. Это позволяет прорабатывать инновационные проекты в альтернативных вариантах без существенного увеличения средств и дает возможность прекращать реализацию неоптимальных контрактов по результатам мониторинга. Реализация такой системы контроля может сократить жизненный цикл инновации за счет стимулирования конкурирующих новшеств.

3. Университет обеспечивает включение в «запас» знаний нового и практически примененного знания таким образом, чтобы все заинтересованные субъекты имели доступ к информации через сетевую систему распространения знаний. Все более очевидным становится тезис Билла Гейтса о связи эффективности бизнеса со скоростью мысли. Любые потери времени, связанные с переходом знания из одних стен в другие, от одного возраста к другому, непременно снижают конкурентоспособность и инвестиционную привлекательность системы.

Во-вторых, рост инновационной «креативности» становится одной из приоритетных задач образовательной политики университета, а для этого необходимо изменить методологию образовательного процесса в университете, ориентировав ее на проектную, в основе которой заложены цели и результаты деятельности в сфере инноваций и их коммерциализации. Основой этого процесса является изменение роли знания в развитии экономики, которое выражается в следующем:

1) превращение интеллекта в основной фактор производства и трансформация экономики в экономику знаний. «В современных компаниях от 70 до 80 % всего, что делается людьми, делается при помощи их интеллекта». «Оглянувшись назад, мы увидим, что благополучие стран исторически строилось на сочетании природных, финансовых и трудовых ресурсов. Заглядывая вперед, очевидно, что решающий фактор — сам человек и его знания» [3]. Сегодня успех бизнеса базируется на интеллектуальных ресурсах, включающих как накопленные знания, так и способность их трансформации в новые знания. Целые страны все больше конкурируют на ниве знаний и создают условия, способствующие притоку мозгов и предотвращающие их утечку;

2) появлением и распространением принципиально новых свойств знаний, обусловленных новой интеллектуальной революцией. К этим свойствам относится скорость и всеохватывающее пространство распространения знаний, его доступность для всех, кто желает владеть данными знаниями. «Сегодня знание мгновенно распространяется по всему миру… Бизнес-школы и университеты ведут пропаганду новых знаний с безжалостной эффективностью. В 1960-е американские бизнес-школы выпускали примерно 5000 студентов MBA в год, сегодня — 75 000. Примерно 100 000 студентов в мире осваивают программы MBA ежегодно. В момент… окончания обучения они обнаружат, что значительная часть полученных ими знаний уже устарела» [3].

В России разрыв между новыми моделями включения университетов, в том числе транспортных, в инновационную составляющую экономики и практикой их фактического участия в инновационных процессах достаточно велик. Тем не менее в последнее время государством и высшей школой уделяется значительное внимание проблемам ликвидации этого разрыва.

Так, в транспортной отрасли система подготовки специалистов ориентирована на инновационное развития, что нашло отражение в создании в ряде транспортных университетов институциональных структур, направленных на реализацию новой миссии университетов — генерирования инноваций и их коммерциализации.

Определенное место в решении этой проблемы отведено малым инновационным предприятиям (МИП) при университетах, которые создаются в соответствии с ФЗ-217 [1]. Практика их становления и функционирования в транспортных университетах пока недостаточно эффективна, что связано как с внешними факторами (отсутствием реальной методической и информационной поддержки вузов и МИП; необоснованным пределом минимального уровня уставного капитала МИП; необходимостью построения системы государственного посевного финансирования университетских компаний, специализированных венчурных фондов для таких компаний и др.), так и внутренними (отсутствием или слабой деятельностью службы коммерциализации, патентных отделов при университетах). В результате менее половины МИП являются дееспособными, при

этом значительная часть созданных в МИП и внедряемых на транспорте разработок базируется на краткосрочных научных исследованиях и опытно-конструкторских работах, что снижает роль университетов в инновационном развитии отрасли.

Более продуктивным институтом развития инноваций на транспорте сегодня является создание научно-образовательных центров и лабораторий. Специфика этих центров заключается в возможности интеграции деятельности и ресурсов по приоритетным направлениям науки и критическим технологиям на транспорте. Эффективность деятельности центров, реализующих кадровое обеспечение инновационного развития транспорта, определяется ключевыми итогами фундаментальных, прикладных исследований; возможностью реализации инновационных проектов, находящихся на стадиях опытно-конструкторских работ или внедрения, успешным выводом на рынок новых конкурентных продуктов и технологий. Это направление деятельности университетов нашло активное распространение на железнодорожном транспорте (Московский, Петербургский и Ростовский государственные университеты путей сообщения).

Взаимодействие университетов и бизнеса в сфере инноваций на транспорте реализуется и в более продуктивных формах интеграции. Так, алгоритм научного сотрудничества компании ОАО «РЖД» и отраслевых вузов отражен во взаимодействии МИИТа и ОАО «НИИАС», усилиями МИИТа и ОАО «ВНИИЖТ» создается факультет науки и инноваций университета. МИИТ активно взаимодействуют с авторитетными зарубежными университетами и компаниями (партнерами университета являются 69 вузов и фирм из 32 стран мира), которые занимаются стратегическими инновационными разработками.

Росту инновационного потенциала транспортных университетов способствует их реорганизация, предусматривающая объединение в едином федеральном университете подготовки кадров по всем видам транспорта, поскольку инновационный подход к развитию отрасли нацелен на интеграцию деятельности различных его видов.

Названные выше формы реализации новой миссии транспортных университетов при всей их важности недостаточны для перехода к модели инновационного развития — «тройной спирали». Наиболее актуальными направлениями, имеющими предпосылки для их становления и отражающими специфику транспорта, являются развитие (восстановление) отраслевой системы грантов для формирования нового поколения ученых-исследователей и новаторов, а также переход к новому уровню государственно-частного партнерства в инновационной сфере. Этот уровень должен быть основан на консолидации финансовых ресурсов и интеллектуального капитала трех субъектов развития инноваций (университетов, бизнеса, государства), партнерских отношениях между ними, что приведет к созданию новых моделей транспортных кластеров в России.

Список литературы

1. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности: федер. закон Рос. Федерации № 217 от 27 июля 2009 г.

2. Инновационная экономика / под ред. А. А. Дынкина, Н. И. Ивановой. — М.: Наука, 2004; *Голиченко О. Г.* Национальная инновационная система России: состояние и пути развития / О. Г. Голиченко. — М.: Наука, 2006; *Иванова Н. И.* Национальные инновационные системы / Н. И. Иванова. — М.: Наука, 2002.

3. *Нордстрем К.* Бизнес в стиле фанк / К. Нордстрем, Й. Риддерстрал. Сер. «Книги Стокгольмской школы экономики в Санкт-Петербурге». — 3-е изд., испр. и доп. — 2002. Translation Copyright ©Стокгольмская школа экономики в Санкт-Петербурге (с разрешения BookHouse Publishing, Stockholm, Sweden).

4. *Lundvall B. A*. National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning / B. A. Lundvall. — L.: Printer Publishers, 1992; National Innovation Systems: A Comparative Analysis / R. Nelson (ed.). — Oxford: Oxford Univ. Press, 1993.

5. *Sabato J.* Technology and the Productive Structure / J. Sabato; Instituto Latinoamericano de Estudios Transnacionales. — 1979.

6. *Etzkovitz H.* The Dynamic of Innovations: from National System and "Mode 2" to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations Research Policy 29. 2000. P. (7) Industrial Research Institute's 6Ul Annual R&D Spending Leuderboard / H. Etzkovitz, L. Leydcsdorff // RTM. — 2004. — Nov.-dec. — P. 22.

Научное издание

Журнал университета водных коммуникаций

Выпуск 4 (16)

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. 21,04. Тираж 500 экз. Заказ № 181
Отпечатано в типографии ФБОУ ВПО СПГУВК
198035, Санкт-Петербург, Межевой канал, 2