НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ИЗВЕСТИЯ ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ, выпуск 3 (40), 2014

ISSN (Print) 1815-588X

Учредитель и издатель
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

Адрес учредителя и издателя
190031, СПб., Московский пр., 9,
тел. (812) 457-80-97

Адрес редакции
190031, СПб., Московский пр., 9,
тел. (812) 436-97-44

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС2-7499 от 06.04.2005 г., выдано Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, Управление по Северо-Западному федеральному округу

Журнал зарегистрирован
в Российском индексе научного цитирования РИНЦ

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий (решение Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от 19.02.2010 г., № 6/6)

Журнал имеет институт рецензирования

Журнал распространяется
по адресно-целевой подписке через редакцию и каталог ОАО «Роспечать» (индекс 18509)

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Главный редактор
А. Ю. Панычев, канд. экон. наук, доцент

Заместитель главного редактора
В. В. Сапожников, д-р техн. наук, профессор

Научный редактор
А. К. Канаев, д-р техн. наук, доцент

Выпускающий редактор
С. А. Зинченко

Ответственный секретарь
Е. В. Моисеева

Перевод на английский язык
О. В. Керханиди

Верстка
А. А. Стуканова

Редактор сайта
Л. А. Стрелкова

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Ковалёв Валерий Иванович, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия, председатель Совета

Юсупов Рафаэль Мидхатович, д-р техн. наук, профессор, чл.-корр. РАН, Институт информатики и автоматизации РАН, Санкт-Петербург, Россия

Шнайдер Экхард, профессор, Фраунгоферовский институт неразрушающего контроля, Саарбрюкен, Германия

Ситаж Марек, профессор, Силезский технический университет, Польша

Христов Христо, профессор, Технический университет, София, Болгария

РЕДКОЛЛЕГИЯ

Сапожников Валерий Владимирович, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия, председатель редколлегии

Бадёр Михаил Петрович, д-р техн. наук, профессор, МГУПС (МИИТ), Москва, Россия

Губачева Лариса Александровна, д-р техн. наук, профессор, Восточно-Украинский национальный университет им. В. Даля, Луганск, Украина

Гуда Александр Николаевич, д-р техн. наук, профессор, РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия

Корниенко Анатолий Адамович, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

Ледяев Александр Петрович, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

Нестеров Валерий Леонидович, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС, Екатеринбург, Россия

Титова Тамила Семеновна, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

Канаев Андрей Константинович, д-р техн. наук, доцент, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

Подписано в печать с оригинал-макета 24.10.2014.
Формат 60×90 1/8. Бумага офсетная. Печать ризография.
Усл. печ. л. 26,375. Уч.-изд. л. 22,0. Установочный тираж 300 экз.
Заказ 937. Цена свободная.

Отпечатано в типографии ПГУПС
190031, СПб., Московский пр., 9.

© Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2014

SCIENTIFIC PUBLICATION

PROCEEDINGS OF PETERSBURG TRANSPORT UNIVERSITY Issue 3 (40) – 2014

ISSN (Print) 1815-588X

Founder and publisher
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Petersburg State Transport University»

Founder and publisher address
190031, St. Petersburg, Moskovskiy pr., 9, (812) 314-92-32

Editorial address
190031, St. Petersburg, Moskovskiy pr., 9, (812) 314-92-32

Mass media registration certificate number
ПИ N ФС2 – 7499 dd. 06.04.2005 issued by the Federal service for the monitoring of legislation compliance in the sphere of mass communications and the preservation of cultural heritage, North West Federal district division

The journal is registered in the Russian Science Citation Index (RSCI)

The Journal is included in the List of leading peer-reviewed scientific journals and publications

The Journal has the Peer-review division

The Journal is destributed by direct subscription via Editorial office and Rospechat catalogue (item 18509)

JOURNAL STAFF

Editor–in–chief
A. Yu. Panychev, Cand. of Economics, Associate Professor

Deputy chief editor
V. Sapozhnikov, D.Eng., Professor

Science editor
A. Kanayev, D.Eng., Associate Professor

Executive editor
S. Zinchenko

Executive secretary
E. Moiseeva

English translation
O. Kerkhanidi

Layout
A. Stukanova

Online content editor
L. Strelkova

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Valeriy Kovalyov, D.Eng., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia, Chairman of Editorial board

Rafael Yusupov, D.Eng., Professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, St.Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Ekhard Shneider, Professor, Fraunhofer Institute for Non-Destructive Testing, Saarbrucken, Germany

Marek Sitazh, Professor, Silesian University of Technology, Poland

Khristo Khristov, Professor, Technical University of Sofia, Bulgaria

EDITORIAL TEAM

Valeriy Sapozhnikov, D.Eng., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia, Chairman of Editorial team

Mikhail Badyer, D.Eng., Professor, Moscow State University of Railway Engineering, Moscow, Russia

Larisa Gubachyeva, D.Eng., Professor, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Luhansk, Ukraine

Aleksander Guda, D.Eng., Professor, Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia

Anatoliy Kornienko, D.Eng., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

Aleksander Ledyayev, D.Eng., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

Valeriy Nesterov, D.Eng., Professor, Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia

Tamila Titova, D.Eng., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

Andrey Kanayev, D.Eng., Assoc. Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

Published by Petersburg State Transport University
190031, St. Petersburg., Moskovskiy pr., 9
Open price

© Petersburg State Transport University, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

→ ПРОБЛЕМАТИКА ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

А. А. Адамова

Повышение конкурентоспособности железнодорожного транспорта путём снижения транспортно-логистических издержек 5

Вл. А. Анисимов, М. В. Нечипорук

Модель взаимодействия железнодорожного и морского транспорта для повышения эффективности мультимодальных перевозок 9

Е. И. Гарлицкий

Критерий выбора оптимальной очередности обслуживания грузовых фронтов 15

Е. К. Коровяковский, О. Д. Покровская

Содержательное описание логистического центра и его роли в системе международных транспортных коридоров 22

Ш. Ш. Ризакулов

Основные проблемы обеспечения безопасности движения поездов на железных дорогах Узбекистана 29

→ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ТРАНСПОРТУ

А. В. Андреев

Влияние конструкции верхнего строения пути на стоимость жизненного цикла при различных климатических и эксплуатационных условиях 36

М. С. Астров, Е. Р. Запретилина, О. А. Ковальчук, И. Ю. Родин, С. Б. Федотова

Сверхпроводниковые технологии для создания модуля транспортной системы магнитной левитации 40

Г. М. Грошев, А. Р. Норбоев

Обоснование величины технологического резерва поездных локомотивов на станциях смены родов тока 56

А. М. Евстафьев, А. П. Зеленченко, В. М. Мищенко

Повышение энергетической эффективности рекуперативного торможения пригородных электропоездов постоянного тока 63

Д. В. Ефанов, А. А. Блюдов

Повышение надежности датчиков контроля положения железнодорожных стрелок 69

Д. В. Зуев, Ф. Н. Лобанов, С. В. Белоусов, А. В. Белоусов

Автоматизированная экспертиза схем напольного оборудования железнодорожной автоматики и телемеханики 78

И. Г. Киселев, М. Ю. Кудрин, В. П. Приймин

О выборе хладагента для климатических установок пассажирского подвижного состава 85

Х. Р. Косимов

Моделирование напряженно-деформированного состояния рамы тепловоза UzTE16M 90

В. А. Кудрявцев, А. А. Светашев

Процесс накопления вагонов на составы поездов 98

М. В. Розов, М. Н. Закс

Оценка конструкции консольной части рамы кузова вагона метрополитена 81 серии 105

Е. В. Соболев, Ал-Рубой Мудар, Е. А. Рубцов

Оценка степени покрытия воздушных трасс Республики Ирак рабочими областями радиомаяков VOR/DME 111

Т. С. Титова, Е. И. Макарова

Оценка качества экозащитных технологий очистки загрязненных металлических поверхностей железнодорожного транспорта 117

→ **ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

Л. К. Бабаджанянц, И. Ю.Потоцкая, Ю. Ю. Пупышева

Управление линейными системами по критерию расхода 124

Г. И. Богданов

Натурные исследования работы элементов главных балок пролетных строений разводных мостов раскрывающейся системы у осей вращения 135

О. И. Копытенкова, О. Т. Алиев

Анализ современных автоматизированных тренажерно-обучающих комплексов для подготовки локомотивных бригад 143

М. М. Луценко, Н. В. Шадрицева

Кооперативный и частотный подходы к назначению веса заданий теста 150

→ **СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ**

Е. Д. Веселова, Е. И. Рычкова, А. Е. Стасишина, А. И. Норкина

Применение укрупненных показателей сметной стоимости строительства 157

П. В. Герасименко, Г. Б. Титов

Прогнозирование сроков доставки грузов железнодорожным транспортом 162

В. Н. Кустов, С. А. Кирюшкин, Т. Л. Станкевич

О подходах к автоматизации процесса аудита операторов сервисов доверия 169

Е. А. Федоров, Л. Г. Баранова, В. С. Федорова

Налоговый контроль как элемент налогового администрирования 176

В. В. Чепель

Экономическая эффективность страхования ответственности предприятий транспортного строительства в условиях саморегулирования 182

С. В. Юдин

К вопросу учета мероприятий пассивной безопасности дорожного движения в оценках экономической эффективности транспортного строительства 192

ABSTRACTS 199

АВТОРЫ СТАТЕЙ 206

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ 211

ПРОБЛЕМАТИКА ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

УДК 332.143

А. А. Адамова
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ПУТЁМ СНИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ИЗДЕРЖЕК

На сегодня железнодорожный транспорт, к сожалению, теряет свои позиции на рынке грузоперевозок, отдавая грузы другим видам транспорта. Для возврата к прежним результатам и их преумножению участники транспортно-логистического рынка должны предпринять решительные действия по созданию конкурентоспособных услуг и привлечению клиентов. В настоящей статье рассматриваются причины проблемы, приводится краткий анализ транспортного рынка и транспортно-логистических издержек, тенденции их развития, а также обосновывается необходимость разработки нового транспортного решения на основе комбинированных перевозок. Данный вид транспортных услуг пока не очень развит в России в связи с рядом проблем, которые также рассматриваются в настоящей статье.

железнодорожный транспорт, транспортно-логистические издержки, комбинированные перевозки, логистический аутсорсинг.

Введение

В последние годы усиливается тенденция перехода грузов с железнодорожного на автомобильный транспорт. С начала реформирования железнодорожного транспорта, а именно с вывода перевозок в конкурентный сектор на автотранспорт уходили только высокодоходные грузы, перевозимые небольшими партиями. На сегодня большая часть высоко- и среднедоходных грузов перевозится автомобильным транспортом, при этом грузы продолжают уходить. Так, например, за 2012 г. прирост грузооборота по сети ОАО «РЖД» составил 4,4%, в то время как прирост грузооборота автотранспорта составил 11,3% [1]. В 2013 г. спад объёмов погрузки по сети железных дорог продолжился. При этом результаты исследований специалистов Института экономической политики им. Е. Т. Гайдара показали, что многие предприятия планируют замещать перевозки своей продукции железнодорожным транспортом на транспортировку по автомагистралям. Увеличивать погрузку на железной дороге за счет уменьшения погрузки на автотранспорт готовы 8% предприятий, а наращивать отправку продукции автомобилями при снижении или неувеличении использования железных дорог планируют уже 20% грузоотправителей в промышленности [2].

1 Логистический аутсорсинг в России

Основными причинами отказа от перевозок по железной дороге являются высокая

стоимость перевозки, большие сроки доставки, частые задержки в доставке, относительная сложность оформления перевозок. Такая тенденция свидетельствует о том, что грузоотправителям необходимо более гибкое, оперативное транспортно-логистическое решение – возможность перевозки «от двери до двери», что позволяет делать всё более популярный автотранспорт, ускорение доставки, снижение стоимости доставки.

Если рассматривать рынок транспортно-логистических услуг с точки зрения его субъектов, работающих с разными видами транспорта, то здесь существует следующая тенденция: все больше компаний-клиентов логистических операторов вступает в непосредственную конкуренцию с самими операторами, организуя собственный сегмент производственной логистики. Впрочем, как утверждают эксперты, это происходит в рамках жизненного цикла транспортно-логистического продукта, рассматриваемого для конкретной компании – потребителя услуги. Жизненный цикл услуги – период времени от ввода её на рынок до ухода с рынка, между которыми происходит подъём, насыщение, спад потребления. В работе транспортно-логистических служб компаний можно выделить три этапа: на первом компании охотно используют услуги логистического аутсорсинга; на втором, накопив опыт, создают собственные транспортно-логистические структуры; на третьем по мере расширения бизнеса снова возвращаются к услугам аутсорсинга, так как они зачастую оказываются эффективнее. На сегодня в России основная часть услуг в сфере перевозок и хранения грузов, а тем более управления запасами и цепочками поставок выполняется собственными транспортно-логистическими службами предприятий-товаропроизводителей, дистрибьюторов или ритейлеров. Они производят около 68 % всего объема логистических операций. Основу рынка логистического аутсорсинга составляют услуги по транспортировке и экспедированию грузов – 94,3 % в 2011 г. [3]. Сегодня определяющим фактором для российских клиентов при выборе подрядчика на оказание транспортно-логистических услуг является цена. Часто в погоне за более низкой ценой небольшие грузоотправители сталкиваются с такими компаниями, которые отказываются от обслуживания средних и мелких клиентов, уделяя больше внимания крупным клиентам.

Очевидно, что современному транспортно-логистическому рынку необходимо решить ряд проблем, чтобы создать продукт, который позволит охватить больший круг клиентов, получить гарантированный доход за счёт снижения транспортно-логистических издержек. Транспортно-логистические издержки представляют собой денежное выражение использованной рабочей силы, средств и предметов труда, финансовые затраты и различные негативные последствия форс-мажорных событий, которые обусловлены продвижением материальных ценностей (сырья, материалов, товаров) на предприятии и между предприятиями, а также необходимостью поддержания объема запасов [4]. Таким образом, в транспортно-логистические издержки включаются и часть издержек производства, и часть издержек обращения. Железнодорожный транспорт должен вернуть себе потерянный грузооборот благодаря созданию гибкой и конкурентоспособной услуги формата 3PL и 4PL с активным привлечением других видов транспорта, а также с возможностью большей интеграции в логистические процессы клиента для увеличения производительности услуг.

2 Комбинированные перевозки: тенденции и проблемы развития

При рассмотрении возможности создания новой транспортно-логистической услуги во внутригосударственном сообщении приоритет отдается железнодорожному и автомобильному транспорту, в экспортно-импортных перевозках к ним добавляется морской. Необ-

ходимо найти оптимальный уровень использования автотранспорта (транспортное плечо), так как здесь тоже вероятно увеличение издержек, связанное с введением платных дорог, ростом стоимости ГСМ, планами по обязательному введению зимних шин на грузовых автомобилях, тахографов и ГЛОНАСС-навигаторов [5]. Кроме того, на издержках транспортно-логистических компаний может сказаться запрет на въезд в город тяжеловесных автомобилей.

Если рассматривать рынок логистического аутсорсинга в России, то по данным РБК. research на сегодня в его структуре преобладают услуги 2PL. Доля услуг добавленной стоимости 3PL не превышает 3%, в то время как среднемировой показатель проникновения 3PL услуг в 2011 г. составил 16% объема рынка логистического аутсорсинга и 7,8% – глобальных логистических затрат. При этом доля логистических издержек в России достигает 19% при среднемировом показателе в 2011 г. 11,3% [3]. Прежде всего, высокий уровень логистических затрат в России связан с низкой эффективностью организации внутренней логистики компаний и транспортно-логистической системы страны в целом, нерациональным размещением многих производств и архаичностью организации доставки грузов от производителя к потребителю.

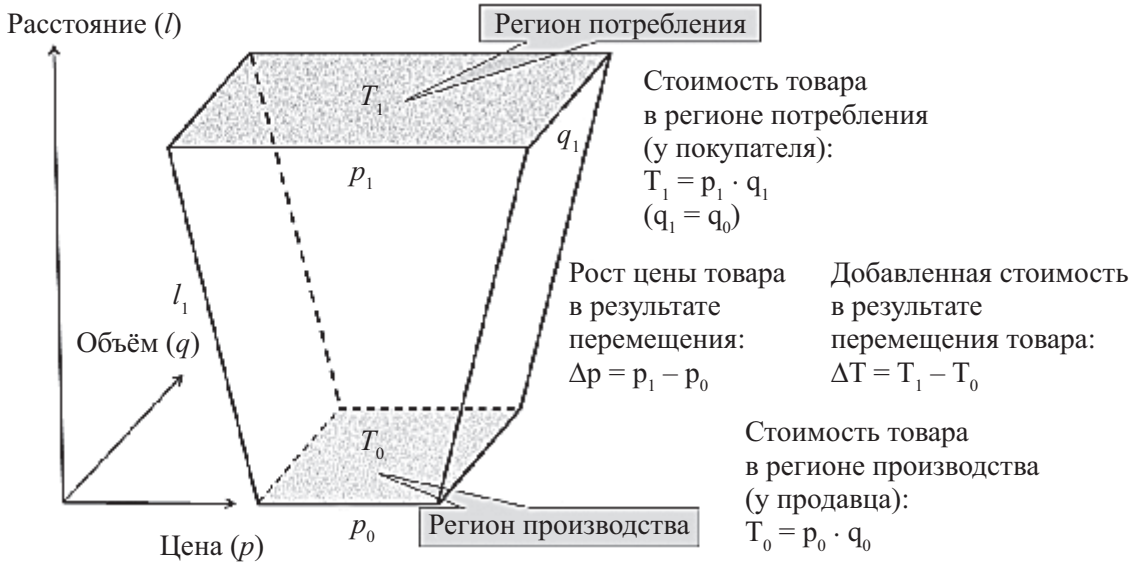
Целевыми клиентами для предоставления транспортно-логистических услуг в форматах 3PL и 4PL являются производители продукции с высокой добавленной стоимостью – грузы второго и третьего тарифных классов, пригодные для транспортировки в крытых вагонах, на платформах, в контейнерах, контрейлерах по железной дороге и по морю, в автофургонах по шоссе. Это, прежде всего, грузы, которые можно подвергнуть контейнеризации. Эффективное использование потенциала транзитных стран как связующих звеньев между Востоком и Западом невозможно без активной контейнеризации железнодорожных грузопотоков. Широкое применение контейнеров позволяет удовлетворять постоянно растущие требования грузоотправителей, которые ждут высокого качества логистического процесса, скорости, безопасности, экономичности доставки и гарантий сохранности грузов.

Успешному развитию комбинированных перевозок на основе железнодорожного транспорта как способа снижения транспортно-логистических издержек в России препятствуют следующие основные проблемы:

1) сложность оформления перевозочных документов, в частности, при перевозке, в которой участвуют несколько видов транспорта, приходится несколько раз переоформлять документы, что влечёт за собой длительные простои на границе, при перегрузках и т. д.;

2) несовершенство отраслевого законодательства: сегодня в России не существует закона, регулирующего смешанные перевозки. Регламентирующие эти перевозки действующие «Правила перевозок грузов в прямом смешанном железнодорожно-водном сообщении», утверждённые в 1984 г. и несколько раз дополненные, уже несколько устарели. На рассмотрении в Государственной Думе находятся два варианта ФЗ «О прямых смешанных (комбинированных) перевозках». Первый, внесённый Минтрансом и рассматриваемый уже два года, должен создать нормативно-правовые основы системы прямых смешанных перевозок, обеспечить повышение транспортной доступности регионов, упростить процедуру перевозки грузов. Его альтернативный вариант, внесённый совместно группой депутатского корпуса Госдумы и Союзом транспортников России, предполагает создание специальной организации, которая будет заключать отдельные договоры с железнодорожными операторами и операторами морских терминалов;

3) преобладание в структуре перевозимых грузов сырья, профицит соответствующего подвижного состава (полувагонов), который занимает подъездные и станционные пути и вызывает задержки в маневровой работе, особенно на припортовых станциях. Как следствие – низкая скорость доставки грузов, задержки при доставке грузов, отсюда – обоснованный уход клиентов на автотранспорт;



Графическая модель Б. М. Лапидуса «Изменение цены и стоимости товара в результате его пространственного перемещения»

4) сравнительно высокая стоимость железнодорожных перевозок, в том числе из-за большой доли порожнего пробега железнодорожного подвижного состава, плата за который ложится на грузоотправителя. Автомобильный транспорт здесь выигрывает за счёт своей мобильности и большей возможности минимизации порожнего пробега.

Для графического представления увеличения добавленной стоимости продукции после транспортировки удобно использовать модель Б. М. Лапидуса (см. рисунок).

Модель демонстрирует изменение стоимости товара в результате его пространственного перемещения, т. е. в результате предоставления транспортной услуги. Цель поиска лучшего логистического решения в том, чтобы транспортно-логистические издержки были минимальными и за счёт их снижения стоимость товара в регионе потребления (p_1) уменьшалась. Таким образом, T_1 должна стремиться быть близкой к T_0, при этом стоимость товара в регионе производства (p_0) будет уменьшаться за счёт снижения уровня транспортно-логистических издержек в стоимости сырья и в процессе производства.

Заключение

В результате выработки конкурентоспособных вариантов предоставления транспортно-логистических услуг в форматах 2PL, 3PL и 4PL преимущественно на основе железнодорожных перевозок грузоотправители должны получить на выбор широкий спектр услуг, позволяющий выбрать оптимальное решение для управления логистикой предприятия. Таким образом, железная дорога способна наращивать объём погрузки, но важно в кратчайшие сроки устранить отмеченные препятствия, мешающие дальнейшему развитию комплексных логистических услуг в России.

Библиографический список

1. **Обзор** рынка грузовых перевозок // Годовой отчёт 2012, компания ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. – URL : http://ar2012.rzd.ru/performance-overview/freight-transportation/freight-transportation-market-review// (дата обращения 24.02.2014).

2. **Железная** дорога остаётся без грузов // Информационное агентство «Финмаркет» [Электронный ресурс]. – URL : http://www.finmar-

ket.ru/main/article/3423768/ (дата обращения 17.12.2013).

3. **РосБизнесКонсалтинг:** «Рынок транспортно-логистических услуг в 2011–2012 годах и прогноз до 2015 года» : аналитич. обзор. 7-е изд.

4. **Экономические** основы логистики : учеб. / Н. К. Моисеева. – Москва : ИНФРА-М, 2008. – 528 с. – (Высш. образование).

5. **Изменение** модальности / О. Перепелица // РЖД-Партнёр. – 2013. – № 20. – С. 42–43.

УДК 656.078.12:519.876.5

Вл. А. Анисимов, М. В. Нечипорук
ФГБОУ ВПО ДВГУПС

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО И МОРСКОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

В качестве объекта исследования выбран мультимодальный транспортный узел (МТУ). Предметом исследования является технология взаимодействия железнодорожного и морского видов транспорта в МТУ с учетом рационального использования мощности припортовых станций и портов. Целью работы является определение условия эффективного взаимодействия объектов МТУ. Для решения поставленных задач в работе рассмотрена теоретико-множественная модель МТУ и процессов, протекающих в узле. В результате сформулировано важное условие достижения поставленной цели – обеспечение резерва пропускной способности объектов узла, которое может быть достигнуто путем реализации организационно-технических и реконструктивных мероприятий.

мультимодальный транспортный узел (МТУ), теоретико-множественная модель объектов МТУ, припортовая станция, народнохозяйственный комплекс, эффективность взаимодействия объектов МТУ

Введение

Народнохозяйственный комплекс страны (НХК) – основа развития государства и повышения качества жизни населения. Он включает в себя все фазы общественного воспроизводства – производство, распределение, обмен, потребление и накопление; все отрасли народного хозяйства как производственной, так и непроизводственной сферы; все региональные части экономики страны – экономические районы и территориально-производственные комплексы.

Важнейшей составляющей народнохозяйственного комплекса является единая транспортная система (ЕТС), которая предназначена для удовлетворения спроса на перевозки НХК и населения. Значение ее исключительно велико. Без опережающего развития ЕТС не могут быть обеспечены рост общественного производства, требования обороноспособности страны, повышение эффективности использо-

вания природных ресурсов, комплексное развитие внутренних и внешних экономических связей регионов.

Таким образом, ЕТС занимает особое место в НХК, формируя инфраструктуру народного хозяйства, обеспечивая перемещение грузов и пассажиров и оказывая огромное влияние на эффективность и комплексность развития производительных сил регионов страны.

1 Технология взаимодействия железнодорожного и морского видов транспорта в МТУ

ЕТС является мультимодальной транспортной сетью (МТС), так как включает в себя технические системы разных видов транспорта, которые, взаимодействуя, обеспечивают удовлетворение спроса на мультимодальные перевозки НХК и населения.

Важную роль в работе МТС играют мультимодальные транспортные узлы (МТУ), поскольку в них осуществляется взаимодействие разных видов транспорта, существенно влияющее на эффективность мультимодальных перевозок. Практика показывает, что почти 70% общего времени доставки грузов приходится на их нахождение в транспортных узлах. В «Транспортной стратегии России на период до 2020 года» [1] определена необходимость создания единой сети национальных МТУ и организаций взаимодействия между ними при освоении внутренних и внешнеторговых грузопотоков.

Крупнейшими МТУ нашей страны являются Московский транспортный узел и МТУ Санкт-Петербурга. Здесь созданы мощное складское и терминальное хозяйства, работают известные компании – операторы мультимодальных перевозок грузов. Перспективные российские МТУ развиваются в Калининграде, Нижнем Новгороде, Самаре, Ростове-на-Дону, Новороссийске, Екатеринбурге, Новосибирске, Барнауле, Тюмени, Красноярске, Иркутске, Томске, Хабаровске, Владивостоке, Ванино-Совгаваньском транспортно-промышленном узле.

Основываясь на системном представлении МТУ, которое дано в [2], под термином мультимодальный транспортный узел будем понимать техническую систему, объединяющую в себе технологически связанные между собой объекты разных видов транспорта, обеспечивающие перевозку грузов и пассажиров. Такой узел может объединять в себе железнодорожные станции, морские и речные порты, аэропорты, вокзалы, связывающие их рельсовые пути и автомобильные дороги, конечные и промежуточные объекты магистральных трубопроводов, муниципальные транспортные сети. Также в инфраструктуру МТУ входят складские комплексы и грузовые терминалы с центрами управления и распределения грузопотоков, объекты таможенного оформления грузов, транспортного страхования, организации, представляющие транспортно-экспедиторские и банковские услуги. МТУ по сути являются пунктами технического, организационно-технологического, информационного, экономического и правового взаимодействия различных видов транспорта и субъектов, участвующих в мультимодальных перевозках.

В МТУ выполняются следующие основные операции: передача транзитных грузовых и пассажирских потоков с одних направлений и видов транспорта на другие; совместное обслуживание промышленности и населения в данном узле различными видами транспорта; доставка грузов магистральным транспортом к погрузочно-разгрузочным устройствам грузовых станций и портов или подвоз груза с этих пунктов к магистральному транспорту; передача грузов с внешних видов транспорта на внутренний грузовой транспорт (или обратно) для доставки их потребителям; прием, отправление, сортировка, техническое обслуживание и снабжение подвижного состава [3].

Эффективность и надежность работы МТУ в значительной степени зависят от правильного соотношения мощностей объектов разных видов транспорта и их взаимодействия

[4]. В связи с этим развитие мультимодальных транспортных узлов, безусловно, должно быть комплексным.

2 Системное представление МТУ

Рассмотрим системное представление МТУ в виде теоретико-множественной модели

$$MTY = \langle O, E, C, H \rangle, \quad (1)$$

$$O = \langle GDT, MGP, H_o \rangle, \quad (2)$$

где O – множество объектов системы; E – множество процессов и событий, происходящих в системе; C– множество целей, на достижение которых направлено функционирование и развитие МТУ; H – множество отношений между объектами системы, процессами, событиями и целями; GDT – объекты железнодорожного транспорта; MGP – объекты морского транспорта (морской грузовой порт); H_o – множество связей между объектами МТУ – железнодорожные пути.

2.1 Теоретико-множественная модель объектов железнодорожного транспорта

Объекты железнодорожного транспорта, их функционирование и развитие представим в виде модели

$$GDT = \langle Y_{gdt}, T_{gdt}, E_{gdt}, G_{gdt}, H_{gdt} \rangle, \quad (3)$$

где Y_{gdt} – множество железнодорожных устройств в МТУ; T_{gdt} – технологические процессы работы станций МТУ; E_{gdt} – множество процессов и событий, влияющих на работу и техническое состояние объектов железнодорожного транспорта; G_{gdt} – множество грузопотоков; H_{gdt} – множество связей между объектами железнодорожного транспорта, процессами, событиями, грузопотоками.

Множество Y_{gdt} включает в себя устройства, обслуживающие грузовое движение Y_{gdt}^{gr}; устройства, на которых осуществляется экипировка и ремонт локомотивов и вагонов Y_{gdt}^{lok}; устройства, обслуживающие пассажирское движение Y_{gdt}^{pass}; специальные устройства Y_{gdt}^{spec}; множество связей между устройствами на железнодорожном транспорте H_{gdt}^{Y}:

$$Y_{gdt} = \langle Y_{gdt}^{gr}, Y_{gdt}^{lok}, Y_{gdt}^{pass}, Y_{gdt}^{spec}, H_{gdt}^{Y} \rangle. \quad (4)$$

К устройствам, обслуживающим грузовое движение, относятся парки приема, отправления, сортировки Y_{gr}^{P}; горочные устройства механизированных (автоматизированных) и немеханизированных горок Y_{gr}^{G}; вытяжные пути Y_{gr}^{VP}; сортировочные и перегрузочные платформы и площадки Y_{gr}^{PL}; грузовые дворы Y_{gr}^{GD} с путевым развитием, промывочные устройства Y_{gr}^{PY}

$$Y_{gdt}^{gr} = \langle Y_{gr}^{P}, Y_{gr}^{G}, Y_{gr}^{VP}, Y_{gr}^{PL}, Y_{gr}^{GD}, Y_{gr}^{PY} \rangle. \quad (5)$$

Множество Y_{gdt}^{lok} объединяет устройства локомотивного Y_{lok}^{LD} и вагонного хозяйства Y_{lok}^{VD}; пункты экипировки вагонов и локомотивов Y_{lok}^{PE}; пути для ремонта вагонов Y_{lok}^{PR}, ходовые пути локомотивов Y_{lok}^{HP}

$$Y_{gdt}^{lok} = \langle Y_{lok}^{LD}, Y_{lok}^{VD}, Y_{lok}^{PE}, Y_{lok}^{PR}, Y_{lok}^{HP} \rangle. \quad (6)$$

Для обслуживания в МТУ пассажирского движения используются приемоотправочные пути пассажирских поездов Y_{pass}^{PP}; посадочные платформы с сооружениями для обслуживания пассажиров Y_{pass}^{PPl}; туннели или пешеходные переходы для связи платформ с остановками городского транспорта Y_{pass}^{T}

$$Y_{gdt}^{pass} = \langle Y_{pass}^{PP}, Y_{pass}^{PPl}, Y_{pass}^{T} \rangle. \quad (7)$$

К множеству Y_{gdt}^{spec} относятся устройства энергоснабжения, связи и СЦБ.

Технологические процессы работы станций МТУ включают в себя графики обслуживания транспортного потока: пассажирских и

пригородных поездов T^1_{gdt}; транзитных грузовых поездов без изменения массы и длины T^2_{gdt}; частично перерабатываемых поездов T^3_{gdt}; поездов, принимаемых в расформирование T^4_{gdt}; поездов своего формирования T^5_{gdt}

$$T_{gdt} = \left\langle T^1_{gdt}, T^2_{gdt}, T^3_{gdt}, T^4_{gdt}, T^5_{gdt} \right\rangle. \qquad (8)$$

Множество процессов и событий, влияющих на работу и техническое состояние объектов железнодорожного транспорта *GDT*, и отношения между ними представим следующей совокупностью [1]:

$$E_{gdt} = \left\langle E^{\text{M}}_{gdt}, E^{\text{OTK}}_{gdt}, E^{\text{K}}_{gdt}, E^{Z}_{gdt}, H^{E}_{gdt} \right\rangle, \qquad (9)$$

где $E^{\text{M}}_{gdt} = \left\langle E^{\text{p}}_{Mgd}, E^{\text{c}}_{Mgd}, E^{\text{от}}_{Mgd}, H^{\text{M}}_{gdt} \right\rangle$ – множество мероприятий по изменению мощности объектов *GDT* и поддержанию их постоянных устройств и сооружений в работоспособном состоянии: E^{p}_{Mgd} – множество мероприятий по развитию объектов *GDT*; E^{c}_{Mgd} – множество мероприятий по текущему содержанию и плановым ремонтам постоянных устройств и сооружений на объектах *GDT*; $E^{\text{от}}_{Mgd}$ – множество организационно-технологических мероприятий на объектах *GDT*; H^{M}_{gdt} – множество технологических отношений между мероприятиями, устанавливающих их совместимость, обусловленность и последовательность проведения во времени; $E^{\text{OTK}}_{gdt} = \left\langle E^{\text{т}}_{\text{OTK}gd}, E^{\text{от}}_{\text{OTK}gd}, H^{\text{OTK}}_{gdt} \right\rangle$ – множество отказов в работе объектов *GDT*: $E^{\text{т}}_{OTKgd}$ – множество технических отказов постоянных устройств, сооружений и подвижного состава; $E^{\text{от}}_{OTKgd}$ – множество организационно-технологических отказов в работе объектов; H^{OTK}_{gdt} – множество отношений обусловленности между отказами; E^{K}_{gdt} – множество событий, связанных с природно-климатическими факторами, которые влияют на работу и техническое состояние объектов, постоянных устройств, сооружений и подвижного состава; E^{Z}_{gdt} – множество задержек поездов на объектах *GDT*, вызванных техническими отказами постоянных устройств, сооружений и подвижного состава и организационно-технологическими отказами в работе объектов; H^{E}_{gdt} – множество отношений между процессами и событиями.

Множество грузопотоков представим двумя матрицами, столбцы которых соответствуют категориям поездов, строки – направлениям их движения

$$G_{gdt} = \left\langle N^k_{gdt}, Q^k_{gdt} \right\rangle, \qquad (10)$$

$$N^k_{gdt} = \begin{pmatrix} N^1_{i-j_1} & N^2_{i-j_1} & N^3_{i-j_1} & N^4_{i-j_1} & N^5_{i-j_1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ N^1_{i-j_n} & N^2_{i-j_n} & N^3_{i-j_n} & N^4_{i-j_n} & N^5_{i-j_n} \\ N^1_{j_1-i} & N^2_{j_1-i} & N^3_{j_1-i} & N^4_{j_1-i} & N^5_{j_1-i} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ N^1_{j_n-i} & N^2_{j_n-i} & N^3_{j_n-i} & N^4_{j_n-i} & N^5_{j_n-i} \end{pmatrix}, \qquad (11)$$

$$Q^k_{gdt} = \begin{pmatrix} Q^1_{i-j_1} & Q^2_{i-j_1} & Q^3_{i-j_1} & Q^4_{i-j_1} & Q^5_{i-j_1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Q^1_{i-j_n} & Q^2_{i-j_n} & Q^3_{i-j_n} & Q^4_{i-j_n} & Q^5_{i-j_n} \\ Q^1_{j_1-i} & Q^2_{j_1-i} & Q^3_{j_1-i} & Q^4_{j_1-i} & Q^5_{j_1-i} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Q^1_{j_n-i} & Q^2_{j_n-i} & Q^3_{j_n-i} & Q^4_{j_n-i} & Q^5_{j_n-i} \end{pmatrix}, \qquad (12)$$

где $N^1_{i-j_1}, \ldots, N^5_{i-j_1}$ – количество поездов соответствующих категорий, отправляемых с *i*-й станции МТУ на j_1 направление; $N^1_{j_1-i}, \ldots, N^5_{j_1-i}$ – количество поездов соответствующих категорий, принимаемых с j_1 направления на *i*-ю станцию; категории поездов: 1 – пассажирские и пригородные; 2 – транзитные; 3 – транзитные с переработкой; 4 – принимаемые в расформирование; 5 – своего формирования; $Q^1_{i-j_1}, \ldots, Q^5_{i-j_1}$ и $Q^1_{j_1-i}, \ldots, Q^5_{j_1-i}$ – массы соответствующих поездов.

2.2 Теоретико-множественная модель объектов морского транспорта

Морской грузовой порт, его функционирование и развитие рассмотрим в виде следующей теоретико-множественной модели:

$$MGP = \left\langle Y_{mgp}, T_{mgp}, E_{mgp}, G_{mgp}, H_{mgp} \right\rangle, \quad (13)$$

где Y_{mgp} – множество устройств морского порта, участвующих в погрузочно-разгрузочных работах; T_{mg} – технологические процессы обработки груза в порту; E_{mgp} – множество процессов и событий, влияющих на работу и техническое состояние *MGP*; G_{mg} – множество грузопотоков; H_{mgp} – множество связей между устройствами порта, процессами, событиями, грузопотоками.

Устройства морского порта представим совокупностью

$$Y_{mgp} = \left\langle Y_{mgp}^{\text{РТ}}, Y_{mgp}^{SC}, Y_{mgp}^{PR}, H_{mgp}^{Y} \right\rangle, \quad (14)$$

где $Y_{mgp}^{\text{РТ}}$ – погрузочно-разгрузочная техника; Y_{mgp}^{SC} – складской комплекс порта; Y_{mgp}^{PR} – причалы порта; H_{mgp}^{Y} – множество связей между устройствами морского порта.

Технологические процессы обработки груза включают в себя

$$T_{mgp} = \left\langle T_{mgp}^{GRgt}, T_{mgp}^{GRmt}, SP_{mgp}^{Ogr}, T_{mgp}^{gt}, T_{mgp}^{mt} \right\rangle, \quad (15)$$

где T_{mgp}^{GRgt} – график подачи вагонов; T_{mgp}^{GRmt} – график подхода судов; SP_{mgp}^{Ogr} – способы организации подачи и уборки вагонов и обработки груза; T_{mgp}^{gt} – технологические графики обработки подачи вагонов; T_{mgp}^{mt} – технологические графики обработки судов.

Множество процессов и событий, влияющих на работу и техническое состояние морского грузового порта *MGP*, представим в виде совокупности

$$E_{mgp} = \left\langle E_{mgp}^{\text{М}}, E_{mgp}^{\text{ОТК}}, E_{mgp}^{MF}, E_{mgp}^{Zv}, E_{mgp}^{Zs}, H_{mgp}^{E} \right\rangle, \quad (16)$$

где $E_{mgp}^{\text{М}} = \left\langle E_{\text{Мтр}}^{\text{р}}, E_{\text{Мтр}}^{\text{с}}, E_{\text{Мтр}}^{\text{от}}, H_{mgp}^{\text{М}} \right\rangle$ – множество мероприятий по изменению мощности устройств и сооружений морского порта *MGP* и поддержанию их в работоспособном состоянии: $E_{\text{Мтр}}^{\text{р}}$ – множество мероприятий по развитию порта; $E_{\text{Мтр}}^{\text{с}}$ – множество мероприятий по текущему содержанию и плановым ремонтам устройств и сооружений порта; $E_{\text{Мтр}}^{\text{от}}$ – множество организационно-технологических мероприятий по улучшению работы морского порта; $H_{mgp}^{\text{М}}$ – множество технологических отношений между мероприятиями, устанавливающих их совместимость, обусловленность и последовательность проведения во времени; $E_{mgp}^{\text{ОТК}} = \left\langle E_{\text{ОТКтр}}^{\text{т}}, E_{\text{ОТКтр}}^{\text{от}}, H_{mgp}^{\text{ОТК}} \right\rangle$ – множество отказов в работе морского порта: $E_{\text{ОТКтр}}^{\text{т}}$ – множество технических отказов устройств и сооружений порта; $E_{\text{ОТКтр}}^{\text{от}}$ – множество организационно-технологических отказов в работе порта; $H_{mgp}^{\text{ОТК}}$ – множество отношений обусловленности между отказами; E_{mgp}^{MF} – множество событий, связанных с природно-климатическими факторами (ледостав, скорость ветра, туман и т. п.), влияющими на работу и техническое состояние устройств и сооружений порта и судов; E_{mgp}^{Zv} и E_{mgp}^{Zs} – множество задержек вагонов и судов в порту из-за отказов в работе морского порта и природно-климатических факторов; H_{mgp}^{E} – множество отношений между процессами и событиями.

Множество грузопотоков, обрабатываемых в порту, представим двумя матрицами, столбцы которых соответствуют вариантам перевалки груза, строки – направлениям их движения между припортовой станцией, причалами и складами:

$$G_{mgp} = \left\langle N_{mgp}^{vp}, Q_{mgp}^{vp} \right\rangle, \quad (17)$$

$$N_{mgp}^{vp} = \begin{pmatrix} N_{s-p_1}^1 & N_{s-sc_1}^2 & N_{sc_1-p_1}^3 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ N_{s-p_n}^1 & N_{s-sc_m}^2 & N_{sc_m-p_n}^3 \\ N_{p_1-s}^1 & N_{sc_1-s}^2 & N_{p_1-sc_1}^3 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ N_{p_n-s}^1 & N_{sc_m-s}^2 & N_{p_n-sc_m}^3 \end{pmatrix}, \quad (18)$$

$$Q_{mgp}^{vp} = \begin{pmatrix} Q_{s-p_1}^1 & Q_{s-sc_1}^2 & Q_{sc_1-p_1}^3 \\ . & . & . \\ Q_{s-p_n}^1 & Q_{s-sc_m}^2 & Q_{sc_m-p_n}^3 \\ Q_{p_1-s}^1 & Q_{sc_1-s}^2 & Q_{p_1-sc_1}^3 \\ . & . & . \\ Q_{p_n-s}^1 & Q_{sc_m-s}^2 & Q_{p_n-sc_m}^3 \end{pmatrix}, \quad (19)$$

где $N_{s-p_1}^1,...,N_{s-p_n}^1,N_{p_1-s}^1,...,N_{p_n-s}^1$ и $Q_{s-p_1}^1,...,Q_{s-p_n}^1$, $Q_{p_1-s}^1,...,Q_{p_n-s}^1$ – количество и масса подачи вагонов с припортовой станции на причалы и обратно; $N_{s-p_1}^2,...,N_{s-p_n}^2$, $N_{p_1-s}^2,...,N_{p_n-s}^2$ и $Q_{s-p_1}^2,...,Q_{s-p_n}^2$, $Q_{p_1-s}^2,...,Q_{p_n-s}^2$ – количество и масса подачи вагонов с припортовой станции на склады и обратно; $N_{sc_1-p_1}^3,...,N_{sc_m-p_n}^3$, $N_{p_1-sc_1}^3,...,N_{p_n-sc_m}^3$ и $Q_{sc_1-p_1}^3,...,Q_{sc_m-p_n}^3$, $Q_{p_1-sc_1}^3$, $...,Q_{p_n-sc_m}^3$ – количество и масса грузовых единиц со складов на причалы и обратно.

2.3 Теоретико-множественная модель взаимодействия железнодорожного и морского транспорта

Исходя из вышеприведенных моделей функционирования и развития объектов МТУ, **теоретико-множественная модель взаимодействия железнодорожного и морского транспорта** может быть представлена в следующем виде:

$$E = \left\langle \begin{matrix} T_{gdt}, E_{gdt}, G_{gdt}, T_{mgp}, \\ E_{mgp}, G_{mgp}, C, H_E \end{matrix} \right\rangle, \quad (20)$$

где H_E – множество отношений между процессами и событиями, происходящими в МТУ, грузопотоками и целями функционирования и развития МТУ.

При этом одним из основных условий эффективного взаимодействия объектов МТУ является следующее соотношение их мощностей, приведенное в [2]:

$$\Gamma_{\text{в}}^{(SS)} > \Gamma_{\text{в}}^{(h_1)} > \Gamma_{\text{в}}^{(PS)} > \Gamma_{\text{в}}^{(GP)}, \quad (21)$$

где $\Gamma_{\text{в}}^{(SS)}$ – возможная пропускная способность сортировочной станции; $\Gamma_{\text{в}}^{(h_1)}$ – возможная пропускная способность участка (подхода); $\Gamma_{\text{в}}^{(PS)}$ – возможная пропускная способность припортовой станции; $\Gamma_{\text{в}}^{(GP)}$ – суммарная пропускная способность грузового порта.

Выполнение условия (21) позволит предотвратить заполнение пропускной способности железнодорожных подходов к узлу выше критического уровня и обеспечить их бесперебойную работу в случае отказов в работе МТУ и задержек судов по прибытию в порт.

Заключение

В исследовании представлена теоретико-множественная модель МТУ и процессов, протекающих в узле. Результаты исследования являются основой для разработки методики моделирования взаимодействия железнодорожного и морского транспорта с целью повышения эффективности мультимодальных перевозок, которая оценивается с помощью сбалансированной системы показателей [5]. При этом важным условием достижения поставленной цели функционирования и развития МТУ является обеспечение резерва пропускной способности объектов узла, который может быть достигнут путем реализации организационно-технических и реконструктивных мероприятий.

Библиографический список

1. **Транспортная** стратегия России на период до 2020 года. – URL : http://www.mintrans.ru/upload/iblock/f0d/trans_strat_08_12_2004.pdf (дата обращения 12.05.2014).

2. **Методологические** основы проектирования этапного развития облика и мощности мультимодальной транспортной сети : моногр. / С. М. Гончарук [и др.]. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2012. – 227 с. : ил.

3. **Основы** взаимодействия железных дорог с другими видами транспорта / В. В. Повороженко [и др.]. – Москва : Транспорт, 1972. – 304 с.

4. **Методологические** основы теории проектирования изменения мощности региональной сети железных дорог : моногр. / В. С. Шварцфельд, В. А. Анисимов, Вл. А. Анисимов и др. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2005. – 362 с.

5. **Сбалансированная** система показателей функционирования и развития мультимодального транспортного узла / М. В. Нечипорук, Вл. А. Анисимов // Сб. трудов X юбилейной междунар. науч.-практич. конф. студентов и молодых ученых «Trans-Mech-Art-Chem». – Москва : Изд-во МИИТ, 2014. – 398 с.

УДК 656.212.9

Е. И. Гарлицкий
ФГБОУ ВПО ДВГУПС

КРИТЕРИЙ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ОЧЕРЕДНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ГРУЗОВЫХ ФРОНТОВ

В качестве объекта исследования выбрано взаимодействие промышленного и магистрального железнодорожного транспорта, предметом исследования является управление маневровым обслуживанием железнодорожных путей необщего пользования (ПНП) – система маневрового обслуживания ПНП. Целью работы является корректировка критерия выбора оптимальной очередности обслуживания грузовых фронтов с учетом финансово-правовых рисков. Для решения поставленных в работе задач использовалась теория агрегативных систем. В результате сформирован критерий выбора очередности обслуживания грузовых фронтов, позволяющий производить маневровое обслуживание путей необщего пользования с минимальными эксплуатационными расходами.

пути необщего пользования, станция примыкания, взаимодействие, финансово-правовые риски, критерий выбора, оптимальная очередность.

Введение

Промышленный железнодорожный транспорт технологически связан с магистральным транспортом и обеспечивает регулярное обслуживание производственных цехов предприятий. На ПНП загружается около 97 % и выгружается более 85 % всех грузов, перевозимых магистральным транспортом страны. Одной из самых массовых задач на железнодорожном транспорте является прикладная задача определения оптимальной очередности обслуживания грузовых фронтов, в частности, в системе «станция примыкания – пути необщего пользования».

Сейчас встал вопрос об учете экономических рисков с целью повышения эффективности работы [1], повышаются эксплуатационные затраты на транспортно-технологический процесс, особенно в начально-конечных операциях. Как следствие, увеличивается удельная транспортная составляющая в конечной цене продукции, снижая ее конкурентоспособность, требуется учитывать затраты по оплате за нарушение договорных условий. Поэтому в качестве критерия оптимальности необходимо принимать не только простой местного вагона на станции, но и возможные финансово-правовые риски при организации маневрового обслуживания ПНП.

1 Постановка задачи формирования критерия выбора оптимального обслуживания ПНП

Целью исследования является разработка критерия выбора оптимальной очередности обслуживания железнодорожных ПНП. В качестве объекта исследования выбрано взаимодействие промышленного и магистрального железнодорожного транспорта, предметом исследования является управление маневровым обслуживанием железнодорожных ПНП – система маневрового обслуживания ПНП.

Для достижения поставленной цели в работе поставлены следующие основные задачи:

• структурировать финансово-правовые риски в системе «станция примыкания – пути необщего пользования»;

• обосновать структуру критерия выбора;

• представить критерий выбора как функцию зависимости от переменных;

• разработать рекомендации, которые необходимо учитывать при составлении имитационной модели взаимодействия станции примыкания и железнодорожных ПНП.

2 Проблемы взаимодействия станции примыкания и путей необщего пользования

2.1 Экспертная оценка проблем взаимодействия

Для выявления проблем взаимодействия между станцией примыкания и ПНП был проведен анализ экспертных оценок. В качестве экспертов опрашивались работники ПНП, проходящие курсы повышения квалификации в системе Желдорнадзора. Экспертная группа включала 27 человек. Качество экспертов определялось компетентностью по рассматриваемой проблеме. Компетентность экспертов оценивалась тестированием, для этого была разработана тест-анкета. Отвечая на вопросы теста, эксперт показывал знания объекта исследования – «станция примыкания – пути необщего пользования». По данным оценки выявлено, что все эксперты компетентны.

На рассмотрение экспертов выносился вопрос, какие проблемы (технического, технологического, правового плана) существуют во взаимоотношениях Вашего пути необщего пользования и обслуживающей станции. Было указано конечное множество вариантов ответов (O_1, O_2, O_3, O_4): задержка по вине перевозчика подачи вагонов, сгущенное прибытие вагонов, просрочка доставки грузов, задержка по вине перевозчика уборки вагонов, соответственно. Эксперты отнесли каждый объект к одному из сформулированных в анкете уровней ($k = 1, 2, 3$): 1 – слабо влияет; 1 – влияет умеренно; 3 – сильно влияет.

Наибольшая частота регистрации наблюдается у такого фактора, как «просрочка доставки груза» (часто встречающийся и практически не зависящий от конечной станции примыкания). Просрочка доставки грузов чаще всего возникает не по вине системы обслуживания ПНП. Вагоны прибывают на станцию с просрочкой, тем не менее, диспетчерский аппарат должен следить за вагонами с истекшим или истекающим сроком доставки. Далее по убыванию: «задержка по вине перевозчика уборки вагонов», «задержка по вине перевозчика подачи вагонов», «сгущенное прибытие вагонов». Согласованность мнений экспертов оценивалось с помощью коэффициента конкордации W. Расчетное значение $W = 0{,}849$ свидетельствует о сильной согласованности мнений экспертов. Результат экспертной оценки не противоречит факту увеличения количества исков, подаваемых ветвевладельцами за несвоевременную уборку вагонов с железнодорожных ПНП [2].

2.2 Анализ арбитражных дел практики взаимодействия станции примыкания и путей необщего пользования

С целью определения актуальности задач оперативного управления и определения про-

блем, возникающих в системе «станция примыкания – пути необщего пользования», взаимных претензий был проведен анализ банка решений арбитражных судов [2].

Основные финансово-правовые риски, выявленные при анализе [3]:

• для владельцев путей необщего пользования и грузовладельцев – оплата сумм за пользование путями общего пользования при невозможности подать вагоны на пути станции по их вине или по причине сгущения подхода вагонов;

• для перевозчика – уплата штрафов за просрочку доставки груза, задержку подачи и уборки вагонов, задержку приема вагонов с железнодорожного пути необщего пользования (при работе собственного локомотива ветвевладельца).

Также установлено, что увеличивалось количество исков, в которых перевозчик выступает в качестве ответчика, особенно исков, поданных ветвевладельцами за несвоевременную уборку вагонов с железнодорожных ПНП, возросли суммы, выплаченные ОАО «РЖД».

2.3 Обзор научных исследований по вопросам координации работы промышленного и магистрального железнодорожного транспорта

Попытки решить задачу выбора оптимальной очередности подач вагонов на грузовые фронты станции неоднократно предпринимались различными авторами: Ф. Т. Мамедовым, Ф. П. Кочневым, Ф. И. Карпелевичем, И. Б. Сотниковым, В. Н. Иванченко, Н. Н. Лябах, Е. М. Тишкиным, В. М. Макаровым, А. Н. Феофиловым. Все они пришли к единому мнению, что критерием выбора очередности обслуживания грузовых фронтов должны быть эксплуатационные расходы.

В последнее время во взаимоотношениях владельцев путей общего и необщего пользования прослеживается, что владельцы инфраструктуры необщего пользования все больше отстаивают свои права, предъявляя претензии и требования выплаты штрафов при нарушении условий взаимодействия. Но, несмотря на рост сумм, выплаченных перевозчиком по этим претензиям и искам, меры для устранения основной причины возникновения этих претензий не предпринимаются.

Имеющиеся критерии выбора оптимальной очередности обслуживания грузовых фронтов в условиях избытка собственных вагонов на сети уже не являются определяющими. Кроме того, анализ исследований показал, что разработанные модели сложны для построения и применения и не учитывают такого параметра, как финансово-правовые риски. Финансово-правовые риски – сочетание вероятности события и его последствий при нарушении правил эксплуатации и обслуживания железнодорожных ПНП. Правила, по которым оценивают величину риска, прописаны в «Уставе железнодорожного транспорта Российской Федерации», «Правилах перевозок грузов железнодорожным транспортом». Штраф за задержку подачи и уборки вагонов, например, зависит от времени задержки и числа вагонов и определяется в соответствии со ст. 100 Устава. С учетом того, что ветвевладельцы все чаще требуют выплаты штрафов за нарушение договоров на эксплуатацию ПНП, требуется учитывать финансово-правовые риски при формировании рассматриваемого критерия.

3 Функционирование системы «станция примыкания – пути необщего пользования»

3.1 Формализация процессов взаимодействия в системе «станция примыкания – пути необщего пользования»

Процессы взаимодействия в системе «станция примыкания – ПНП» предлагается формализовать с помощью метода агрегатов. Формализованная схема функционирования станции примыкания и путей необщего пользования методом агрегативных систем, пред-

усматривающая возможность управления по экономическим и технологическим критериям, отличающаяся возможностью добавления необходимого количества сценариев работы в зависимости от задаваемых пользователем критериев экономической и технологической эффективности функционирования данной системы представлена в работе [4].

Использование теории агрегатов позволит «навесить» на грузовую отправку ярлыки, характеризующие отправку по времени до окончания срока доставки, возможности подачи на грузовой фронт, по признаку раскредитованности груза, что даст возможность выбрать оптимальную очередность подачи и уборки с учетом экономических рисков.

3.2 Критерий выбора оптимального обслуживания путей необщего пользования

Предлагается выбор очередности обслуживания грузовых фронтов производить по критерию минимизации эксплуатационных расходов. Управление в системе «станция примыкания – пути необщего пользования» сведется к выбору такой очередности, при которой обеспечится минимизация эксплуатационных расходов на маневровое обслуживание, в частности, вагоно-часы, локомотиво-часы, а также финансово-правовые риски.

Критерий выбора оптимальной очередности обслуживания грузовых фронтов примет вид

$$F_i = \left(F_{nt} + F_{Mt} + F_R\right) \to \min$$

$$F_i = \left(e_{nt} \sum_{i=1}^{k} nt + e_{mt} \sum_{i=1}^{k} Mt + \sum_{i=1}^{k} R \right) \to \min,$$

где F_i – эксплуатационные расходы по подаче и уборке i-й группы вагонов на единицу времени; $\sum_{i=1}^{k} nt$ – суммарные затраты вагоно-часов на межоперационные простои, связанные с ожиданием подачи и уборки группы вагонов на пути необщего пользования, ваг-час; $\sum_{i=1}^{k} Mt$ – затраты локомотиво-часов маневрового локомотива при выбранной очередности обслуживания грузовых фронтов, лок-час; $\sum_{i=1}^{k} R$ – суммарные финансовые риски, возникающие при выбранной очередности обслуживания грузовых фронтов, руб.; e_{nt}, e_{mt} – единичные расходные ставки, руб./измеритель.

В общем виде составляющие критерия выбора оптимальной очередности есть функции от количества подач и уборок X_{n-y}:

$$F_{nt} = f(X_{n-y}),$$

$$F_{Mt} = f(X_{n-y}),$$

$$F_R = f(X_{n-y}).$$

Опишем структуру финансово-правовых рисков при выбранных договорных критериях в обслуживании железнодорожных путей необщего пользования [5, 6].

$$\sum_{i=1}^{k} R = \sum_{i=1}^{k} R_{\text{п}} + \sum_{i=1}^{k} R_{\text{у}} + \sum_{i=1}^{k} R_{\text{сд}} + \sum_{i=1}^{k} R_{\text{и}} + \sum_{i=1}^{k} R_{\text{о}},$$

где $R_{\text{п}}$, $R_{\text{у}}$ – финансово-правовые риски, связанные с задержкой подачи и уборки вагонов на фронты по вине перевозчика, соответственно, руб.; $R_{\text{сд}}$ – штраф за нарушение срока доставки грузов, руб.; $R_{\text{и}}$ – недополученная плата за отстой порожнего собственного (арендованного) подвижного состава, руб.; $R_{\text{о}}$ – финансово-правовые риски, связанные с нарушением срока на оказание услуг по сопровождению и охране грузов при задержке подачи вагонов.

$$R_{\text{п}} = f(N_{\text{ож.под}}, t_{\text{п}}),$$

где $N_{\text{ож.под}}$ – вагоно-часы в ожидании подачи на грузовые фронты; $t_{\text{п}}$ – момент уведомления о времени подачи вагонов.

$$R_{\text{у}} = f(N_{\text{ож.уб}}, t_{\text{у}}),$$

где $N_{ож.уб}$ – вагоно-часы в ожидании уборки с грузовых фронтов; $t_у$ – договорной срок на уборку вагонов с мест погрузки, выгрузки или железнодорожных выставочных путей необщего пользования.

$$R_{сд} = f(t_{приб}, t_{раскред}, t_{уст}),$$

где $t_{приб}$ – фактическое прибытие грузовой отправки на станцию; $t_{раскред}$ – момент раскредитования перевозочных документов; $t_{уст}$ – нормативный срок доставки.

$$R_и = f(t, l, e, K_з),$$

где t – период занятия путей, сут.; l – длина вагона, м; e – ставка договорного сбора за отстой собственных (арендованных) вагонов, руб./сут.; $K_з$ – коэффициент занятия станционного пути (выставочного), пути необщего пользования (устанавливается на основании технологии работы станции примыкания и железнодорожных ПНП и должен быть предусмотрен в договорах на эксплуатацию железнодорожного пути необщего пользования или договорах на подачу и уборку вагонов) [7].

$$R_о = f(t_с, n_з),$$

где $t_с$ – время сверхнормативной охраны, исчисляемое с 00:00 ч суток, следующих за днем истечения первоначального нормативного срока доставки грузов; $n_з$ – количество вагонов в задержанной подаче.

Рассмотрим пример расчета экономических рисков в системе взаимодействия станции примыкания и железнодорожных ПНП на примере арбитражного дела № А60-33886/2012 [2]. Ссылаясь на нарушение ОАО «РЖД» сроков приемки вагонов с железнодорожных путей необщего пользования, общество «Газпромтранс» в соответствии со ст. 100 Федерального закона от 10.01.2003 г. № 18-ФЗ «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации» начислило ОАО «РЖД» штраф 3 637 640 руб. Размер этого штрафа и является финансово-правовым риском, связанным с неоптимальным обслуживанием ПНП.

После учета всех возможных составляющих критерий выбора оптимального маневрового обслуживания путей необщего пользования примет вид

$$F_i = \begin{pmatrix} e_{nt}\sum_{i=1}^{k} nt + e_{mt}\sum_{i=1}^{k} Mt + \sum_{i=1}^{k} R_{сд} + \\ +\sum_{i=1}^{k} R_у + \sum_{i=1}^{k} R_п + \sum_{i=1}^{k} R_и + \sum_{i=1}^{k} R_о \end{pmatrix} \to \min.$$

3.3 Рекомендации при разработке алгоритма выбора оптимальной очередности обслуживания

Учитывая сложность системы «станция примыкания – пути необщего пользования» и влияние случайных факторов (например, технической неисправности пути, подвижного состава, сбоя в системе СЦБ), целесообразно использовать имитационное моделирование на основе агрегативных систем с использованием операторов переходов, которые позволят определить состояние грузовой отправки в любой момент времени. Функции операторов могут зависеть от входных, выходных, управляющих сигналов и постоянных величин – параметров системы «станция примыкания – пути необщего пользования».

При разработке алгоритмов выбора оптимального обслуживания конкретных путей необщего пользования необходимо учитывать множество условий функционирования:

- вместимость грузовых фронтов;
- вместимость выставочного железнодорожного пути;
- число стрелок, переводимых при движении;
- взаимное расположение грузовых фронтов;
- тяговую характеристику маневрового локомотива станции, ветвевладельца;
- возможность совмещения подачи и уборки вагонов;

• продолжительность подачи и уборки вагонов;

• количество маневровых локомотивов перевозчика;

• приоритет в обслуживании путей необщего пользования;

• договорной срок на уборку вагонов с мест погрузки, выгрузки и железнодорожных выставочных путей;

• вариант взимания сбора за подачу и уборку вагонов (в зависимости от среднесуточного числа поданных и убранных вагонов или за каждый выход локомотива);

• время на подачу вагонов;

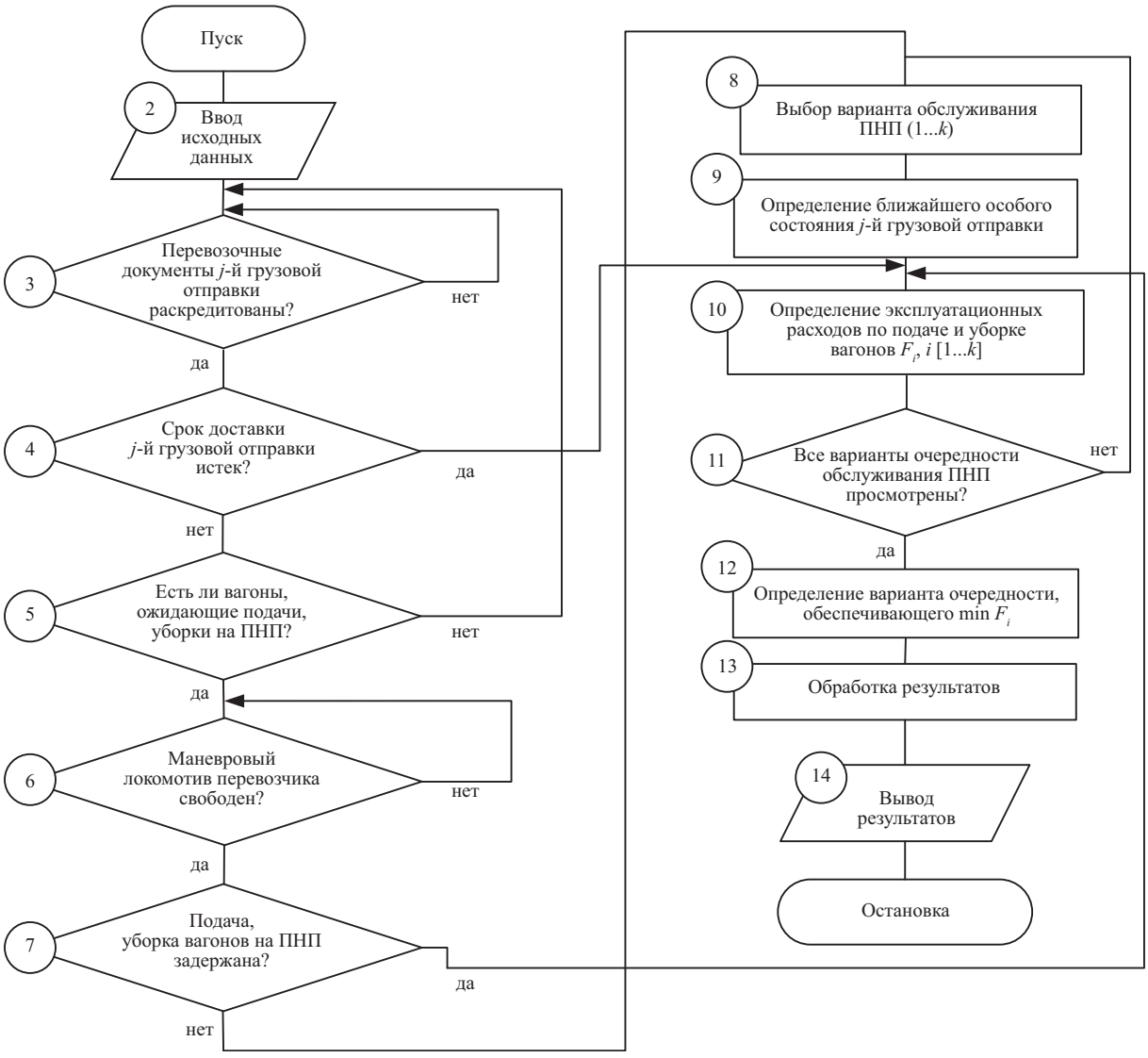
• принадлежность локомотива при обслуживании ПНП (перевозчика или ветвевладельца).

Укрупненная блок-схема имитационной модели выбора оптимальной очередности обслуживания ПНП приведена на рисунке.

При формировании условных функционалов операторов переходов также необходимо учитывать:

• момент раскредитования перевозочных документов;

• время до истечения срока доставки груза;



Укрупненная блок-схема имитационной модели выбора оптимальной очередности обслуживания ПНП

• момент уведомления о времени подачи вагонов на грузовые фронты;

• момент времени возникновения сверхнормативной охраны;

• момент освобождения маневрового локомотива перевозчика;

• момент уведомления о времени завершения грузовой операции;

• момент сдачи вагонов на местах погрузки, выгрузки, на выставочных железнодорожных путях;

• возможность отстоя группы вагонов на железнодорожных путях необщего пользования.

Заключение

Взаимодействие станции примыкания и путей необщего пользования невозможно оценить только количественными методами. Увеличение штрафов за некачественное обслуживание грузополучателей в системе «станция примыкания – пути необщего пользования», особенности эксплуатации в условиях отсутствия собственных вагонов у перевозчика, сложность управления в системе «станция примыкания – пути необщего пользования», увеличение количества исков, поданных ветвевладельцами за несвоевременную уборку с железнодорожных путей необщего пользования, несоблюдение сроков доставки грузов, повышение затрат на транспортно-технологический процесс, особенно в начально-конечных операциях, приводит к увеличению удельной транспортной составляющей в конечной цене продукции.

В связи с тем, что в существующих моделях работы грузовых станций в качестве критерия оптимальной очередности обслуживания грузовых фронтов используется простой местных вагонов без учета финансово-правовых рисков, необходимо корректировать критерий выбора оптимальной очередности обслуживания. В условиях структурного и технологического развития производственных процессов на железнодорожном транспорте всё более очевидной становится необходимость перехода к созданию систем поддержки принятия управленческих решений. Для совершенствования работы в системе «станция примыкания – пути необщего пользования» необходимо модернизировать критерий с учетом финансово-правовых рисков, возникающих при нарушении договорных условий.

Библиографический список

1. **Распоряжение** Правительства РФ от 02.04.2014 г. № 503-р «Об утверждении плана мероприятий по развитию конкуренции на железнодорожном транспорте». – URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_161476/#p21 (дата обращения 12.05.2014).

2. **Картотека** арбитражных дел // Банк решений арбитражных судов. – URL : http://http://ras.arbitr.ru/ (дата обращения: 12.05.2014).

3. **Устав** железнодорожного транспорта Российской Федерации : федер. закон [принят 10.01.2003 г. № 18-ФЗ] // Собрание законодательства РФ. – 2013. – № 2. – Ст. 170.

4. **Формализация** процессов взаимодействия промышленного и магистрального железнодорожного транспорта / Е. И. Гарлицкий, В. А. Телегина // Транспортное дело России. – 2013. – № 3 (106). – С. 50–53.

5. **Правила** применения сборов за дополнительные операции, связанные с перевозкой грузов на федеральном железнодорожном транспорте// КонсультанПлюс : информ.-прав. портал. – URL : http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req= doc;base=LAW;n=88621;div=LAW;dst=100010;rnd=0.67 05078205559403 (дата обращения 12.05.2014).

6. **Правила** эксплуатации и обслуживания железнодорожных путей необщего пользования // КонсультанПлюс : информ.-прав. портал. – URL : http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=88188;div=LAW;dst=100011;rnd=0.03 302299021743238 (дата обращения 12.05.2014).

7. **О внесении** изменений в методику определения ставок договорного сбора за отстой на железнодорожных путях общего пользования порожнего собственного (арендованного) железнодорожного подвижного состава, не используемого грузоот-

правителями, грузополучателями, операторами и собственниками железнодорожного подвижного состава под перевозки грузов: распоряжение ОАО «РЖД» от 1 февраля 2010 г. № 185 р // КонсультантПлюс: информ.-прав. портал. – URL : http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=101718;div=LAW;dst=100003;rnd=0.566403990611434 (дата обращения 12.05.2014).

УДК 656.073: 658.8

Е. К. Коровяковский
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

О. Д. Покровская
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

СОДЕРЖАТЕЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА И ЕГО РОЛИ В СИСТЕМЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ

В статье сформулировано понятие логистического центра (ЛЦ) как нового пространственно-логистического образования, предоставляющего полный комплекс транспортно-логистических услуг клиентуре. ЛЦ интерпретируется как сложная система взаимодействия транспорта, производства и потребителей и представляется основной функциональной единицей инфраструктуры международных транспортных коридоров. Графически представлена полиаспектная сущность ЛЦ.

логистический центр, терминальная сеть, логистический интегратор, международный транспортный коридор, инфраструктура международного транспортного коридора.

Транспортной стратегией РФ на период до 2030 г. предусмотрена не просто реализация проектов по развитию транспортно-логистической инфраструктуры, но согласованное развитие и организация взаимодействия различных видов транспорта при условии эффективного обслуживания пользователей транспортными услугами [1]. Для реализации колоссального транспортного потенциала России требуется прежде всего развитие транспортно-логистической инфраструктуры.

Современные экономические процессы говорят об усилении роли и значения транспортной инфраструктуры. В условиях расширения международного сотрудничества и углубления интеграционных процессов формированию международных транспортных коридоров (МТК) принадлежит ведущая роль в решении транспортных проблем [2, 3].

Так, российский LPI по итогам 2011 г. составил 2,58 пунктов, причем оценка инфраструктуры снизилась на 14 пунктов. Уровень логистического обслуживания и своевременность доставки также снизились [4].

К сожалению, отечественный объем перевозок в два раза меньше, чем в США, а транспортные издержки составляют 11,5% от национального дохода, в то время как в США – менее 7%. Потери времени потребителей в России в пять раз выше, чем в развитых странах мира. Потребность в транспортных услугах удовлетворяется только на 60–70%, а простои

достигают более 40% общего времени транспортного обслуживания [5].

Ситуация усложняется тем, что 97% российского рынка транспортно-логистических услуг приходится на транспортно-экспедиционные услуги, тогда как в мире они занимают не более 70% рынка, а остальные 30% приходятся на услуги более высокого уровня, обеспечивающие добавленную ценность как для клиентов, так и для участников рынка. Несмотря на то, что в России есть ряд федеральных целевых программ в области транспорта, в которых речь идет о развитии инфраструктуры и модернизации подвижного состава, система управления грузопотоками до сих пор отсутствует [6, 7]. Это свидетельствует о недостаточных темпах развития транспортно-логистической системы страны и, в первую очередь, ее инфраструктурной составляющей.

В состав МТК включаются транспортные магистрали и объекты, на которых концентрируются внешнеторговые и транзитные грузопотоки, и звенья транспортной сети, имеющие благоприятные перспективы для привлечения на них указанных потоков [2, 3].

Необходимо сформировать российскую часть инфраструктуры МТК таким образом, чтобы обеспечить бесперебойную работу опорной сети региональных логистических центров на основе единого организационно-экономического, информационного, нормативно-правового, кадрового и финансового пространства. Работа логистических центров обеспечит выход к каждому грузоотправителю и грузополучателю, что повысит эффективность всей транспортно-логитической системы в среднем на 30–40% [8].

К основным задачам формирования и развития инфраструктуры МТК относятся: 1) согласованное развитие транспортной инфраструктуры с целью интеграции евроазиатских транспортных систем для беспрепятственного передвижения грузов; 2) рационализация взаимодействия между различными видами транспорта в интермодальной транспортной цепи; 3) оптимизация транспортного процесса с целью повышения качества перевозок и снижения транспортных издержек в конечной стоимости товаров; 4) повышение привлекательности инвестиционных проектов развития международных транспортных коридоров [6].

К значимым преимуществам, способным существенно повысить конкурентоспособность отечественных перевозчиков и экспедиторов, относится инфраструктурно-сервисная составляющая внешнеэкономического потенциала страны. Она характеризуется наличием сформированных инфраструктурных комплексов и систем на территории ключевых регионов страны с целью предоставления комплексного транспортно-логистического сервиса всем участникам международного товаро- и грузодвижения.

По оценке экспертов, до 2025 г. на территории России потребуется сформировать 10 мультимодальных транспортно-логистических центра федерального, 20 – регионального и свыше 50 – территориального ранга [9].

Один из способов рационального формирования инфраструктурно-сервисной составляющей МТК – создание и развитие региональной терминальной сети, через которую будет осуществляться опосредованный выход на МТК.

Терминальная сеть региона – совокупность взаимодействующих и централизованно управляемых узлов – логистических центров, обеспечивающая межрегиональную интеграцию и выходы на транспортные коридоры страны. Формирование терминальной сети как системы распределения, адекватной мощностям и потребностям клиентуры в перевозках, должно создать условия единого транспортно-экспедиционного пространства.

Создание опорной терминальной сети в зоне тяготения национальных и международных транспортных коридоров, формирование на их основе интегрированных транспортно-логистических систем являются фактором роста региональной экономики, транспортного комплекса России в глобальной системе МТК [5].

Развертывание терминальной сети именно внутри региона, несмотря на то, что основные рынки сбыта могут находиться в других ре-

гионах и за рубежом, мотивировано возможным мультипликативным эффектом в части развития городов, транспортно-дорожной инфраструктуры (строительство дорог, грузовых пунктов, контейнерных площадок и т. д.) и рациональных транспортно-хозяйственных связей [10]. Например, формирование терминальных сетей будет сопровождаться значительным мультипликативным эффектом, который проявится в других отраслях экономики, в развитии региональных рынков товаров и услуг, а в конечном итоге – в увеличении валового регионального и валового внутреннего продукта страны.

Так, мультипликативный эффект комплексного развития современного логистического центра может быть представлен (на примере многофункционального Морского торгового порта Усть-Луга): 1) в индустриальном аспекте – в увеличении налоговых поступлений в бюджет на 20 %; увеличении ВРП – на 10 %; в создании 17 200 новых рабочих мест; 2) в селитебном – в жилищном строительстве с обеспечением бытовой инфраструктуры общей площадью 1849 га; 3) в дальнейшем устойчивом развитии региона; 4) как синергетический эффект от объединения различных инвестиционных проектов в единый комплексный проект; 5) в стимулировании дальнейшего развития порта и в создании на его основе крупного Восточно-Европейского транспортного узла [11].

Организация на региональном уровне терминальной сети, работающей на логистических принципах, позволит аккумулировать и управлять распределением грузопотоков в логистических центрах с мультимодальным транспортным обслуживанием.

Логистические центры (ЛЦ) в промышленно-транспортных узлах регионов являются сете- и системообразующим фактором при формировании и развитии инфраструктуры МТК.

Логистический центр – совокупность технологически взаимосвязанных технических объектов, обеспечивающих сбор груза, формирование и расформирование партий, перегрузку на другие виды транспорта, доставку груза конечным потребителям. ЛЦ предназначен для работы с грузами, требующими перегрузки, перевалки, обогащения, очистки, сложной дистрибуции, формирования, изменения параметров партий. При этом ЛЦ способен управлять качеством и добавленной стоимостью груза, улучшать потребительские свойства. Обладая модульно-интегрированной структурой, ЛЦ обеспечит оказание принципиально нового вида консолидированной услуги по перегрузке, дистрибуции и перевозке грузов, создаст конкурентные условия для перевозчиков и логистических компаний.

Основные задачи создания региональных логистических центров: 1) повышение согласованности работы различных видов транспорта при смешанных и мультимодальных перевозках, формирование условий для политранспортного обслуживания; 2) организация качественного комплексного транспортного обслуживания потребителей; 3) сокращение стоимости груза в пути; 4) рационализация транспортно-хозяйственных связей; 5) подготовка грузовых партий, мониторинг потребностей, анализ рынков производства и сбыта, эффективное распыление товаропотоков по внешним и внутренним направлениям; 6) сокращение суммарных складских запасов и продолжительности хранения груза; 7) ритмичность доставки, непрерывность транспортно-грузовых процессов, взаимодействие магистрального транспорта с промышленным, смешанное сообщение [5, 12].

Пропуск через терминальную сеть грузопотоков высвободит складские площади промышленных предприятий, передаст распределительные, логистические и маркетинговые функции ЛЦ, реализующим сквозной транспортно-логистический сервис.

Для организаторов и участников политранспортного сообщения на основе логистических технологий необходимо единое правовое, информационное и транспортно-экспедиционное пространство. В границах транспортно-логистического комплекса деятельность ЛЦ призвана обеспечить единство транспортно-экспе-

диционного, логистического, информационного и правового полей при реализации комплексного сквозного транспортно-логистического сервиса.

ЛЦ реализует самостоятельно или закупает классические логистические услуги, интегрирует их в принципиально новую, консолидированную «сквозную» услугу и затем продает их в качестве совокупного продукта сбытовым организациям или напрямую грузоотправителям на рынке. Это соответствует стратегическим направлениям развития ОАО «РЖД» [7] и Транспортной Стратегии-2030 [1].

ЛЦ способен предложить принципиально новый вид консолидированной услуги по перегрузке, дистрибуции и перевозке грузов, реализуемой одним поставщиком. Продуктом работы ЛЦ является полный пакет транспортно-логистических услуг. Если логистические услуги традиционно оказываются «узкофункциональными» посредниками – перевозчиками, складскими операторами, экспедиторами, то ЛЦ обеспечивает реализацию широкого набора услуг по обслуживанию эффективного грузодвижения на протяжении всего логистического цикла, причем в одном лице [9,10].

Центр до недавнего времени ассоциировался с понятием склада с минимумом функций, связанных с переработкой и накоплением грузов. Рост межрегионального грузо- и товарообмена, расширение межрегиональной интеграции и транспортно-экономических связей существенно изменил подход к определению ЛЦ [2, 3].

Анализ литературных источников (работ Б. А. Аникина, Т. А. Прокофьевой, В. В. Дыбской, В. С. Лукинского, Л. Б. Миротина, О. Б. Маликова, А. М. Гаджинского, В. В. Волгина и др.) показал: в связи с расширением функционального арсенала подобных центров, с распространением логистических концепций под ЛЦ большинство авторов понимает крупный транспортно-распределительный центр с широким спектром оказываемых услуг, представляющий собой комплекс инженерно-технических сооружений с современным технологическим оборудованием.

Имеется множество возможных интерпретаций понятия «логистический центр». Например: ЛЦ представляет собой специальный комплекс сооружений, персонала, технических и технологических устройств, организационно взаимоувязанных и предназначенных для выполнения логистических операций, связанных с приемом, погрузкой-разгрузкой, хранением, сортировкой, грузопереработкой различных партий грузов, а также коммерческо-информационным обслуживанием грузополучателей, перевозчиков и других логистических посредников в перевозках [12].

В современной логистической науке и практике под ЛЦ понимается следующее:

а) «сухой порт», способный обеспечить комплексное транспортно-логистическое сопровождение грузодвижения и грузообращения в целом;

б) комплексная интегрированная система поставок и обслуживания грузообращения, включающая доставку, хранение, управление добавленной стоимостью, распределение и доведение груза до потребителей, сервисную поддержку товарообращения;

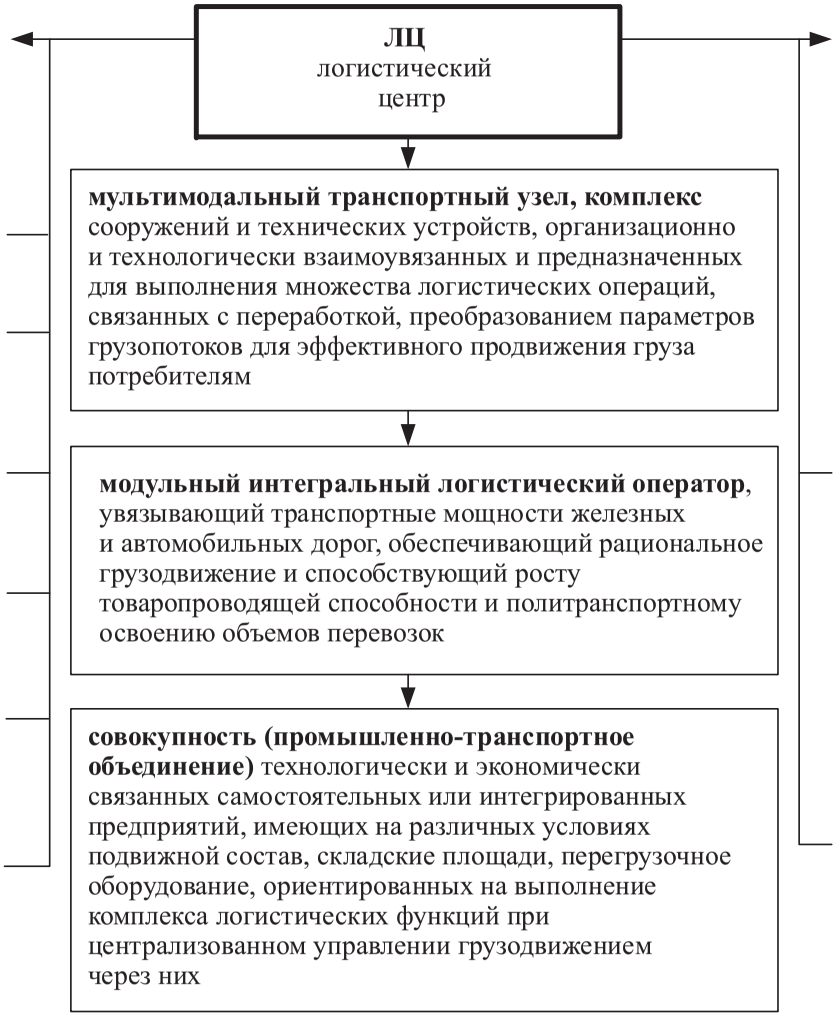
в) система управления доставкой и грузообращением (грузодвижением).

Интегрируя эти определения, можно сказать, что под ЛЦ понимается мультимодальный транспортный узел, представляющий собой комплекс сооружений и технических устройств, организационно и технологически взаимоувязанных и предназначенных для выполнения множества логистических операций.

На рис. 1 приведен сводный обзор понимания ЛЦ в логистике, по центру даны сформулированные в данном исследовании интегрированные определения [10].

Плюрализм интерпретаций ЛЦ связан с множеством выполняемых им функций и, как следствие, с различными ракурсами его определения.

В данном исследовании предлагается интерпретировать ЛЦ как сложную систему, рассматриваемую в нескольких аспектах: экономическом, физическом, пространственном, экономическом, технологическом (рис. 2).



транспортно-дистрибуционный узел, оказывающий комплекс всех видов логистических услуг

центр транспортно-логистического сервиса, сокращающий число контактов между производителем и потребителем товаров и услуг

часть торгового дома производственной компании, способная управлять добавленной стоимостью и качеством товара

пункт сбора и распределения груза с переформированием партий

стыковой пункт координации и взаимодействия видов транспорта, концентрирующий грузопотоки и распределяющий их потребителям

локальный центр накопления, обработки и распределения грузов

транспортно-экспедиторская единица в логистической цепочке с развитой инфраструктурой, способная покрыть весь спектр транспортных услуг по приему грузов и их отправке, используя различные виды транспорта и организуя сквозной транспортно-логистический сервис

интегрированная транспортно-экспедиторская единица в логистической цепочке с развитой инфраструктурой, выполняющая весь спектр транспортных услуг, используя различные виды транспорта для обеспечения сквозного транспортно-логистического сервиса

мультимодальный транспортно-логистический центр, основной функциональный элемент региональных транспортно-логистических систем, обеспечивающий скоординированное взаимодействие участников продвижения и обслуживания товарноматериальных потоков

комплексная интегрированная система поставок и обслуживания грузообращения, включающая доставку, хранение, управление добавленной стоимостью, распределение и доведение груза до потребителей, сервисную поддержку товарообращения

Рис. 1. Сводный обзор понимания ЛЦ в логистике

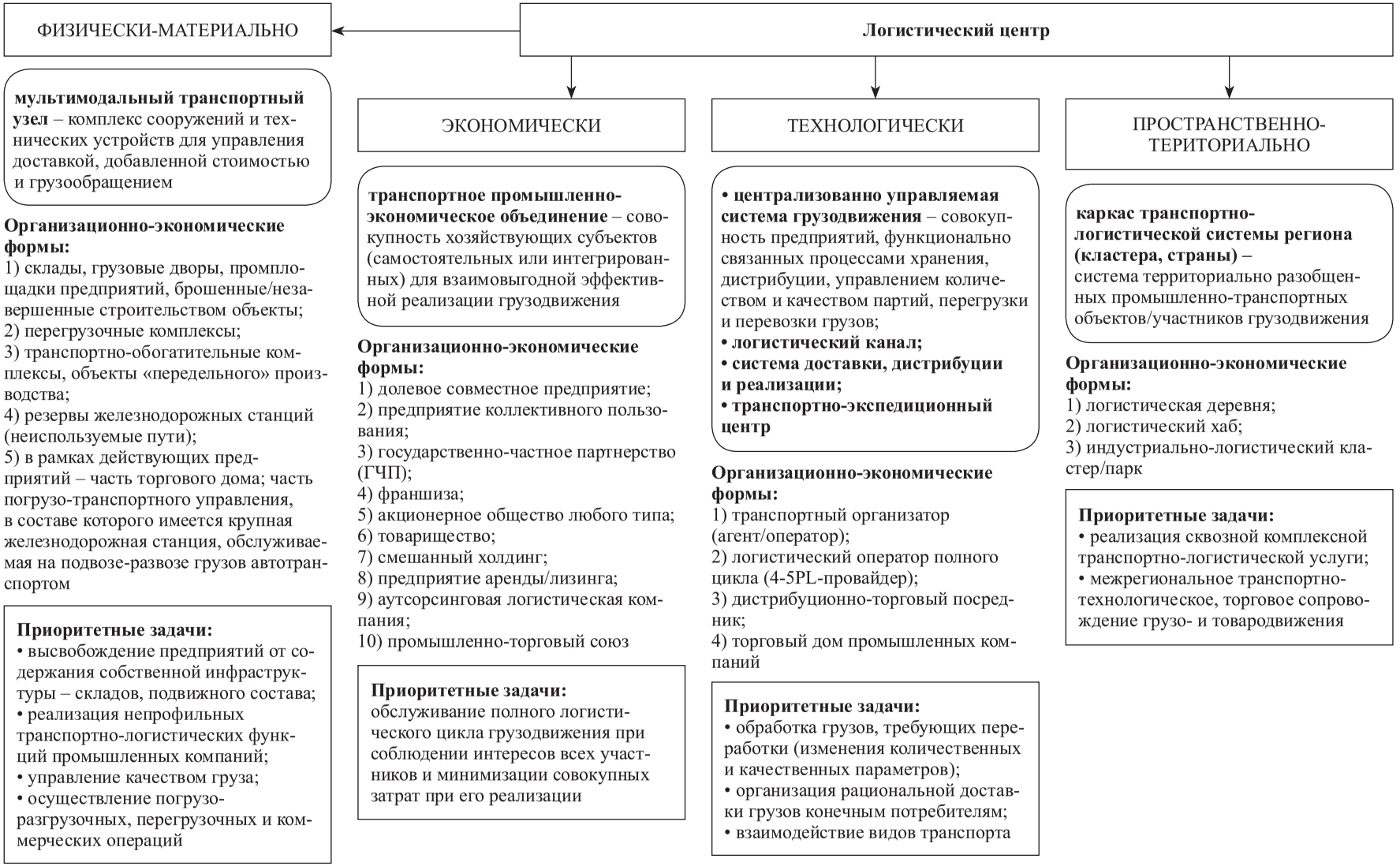


Рис. 2. Полиаспектное понятие ЛЦ

На рис. 2 показаны выделенные аспекты понимания ЛЦ как объекта материального, экономического, технологического и пространственного. По каждому выделенному аспекту сформулировано определение ЛЦ. После определений перечислены основные организационно-экономические формы, какими ЛЦ может быть представлен в различных аспектах понимания его сущности. Далее сформулированы приоритетные задачи, которые должен решить ЛЦ в процессе своего функционирования в том или ином аспекте своей деятельности.

Библиографический список

1. **Транспортная** стратегия России до 2030 г. Министерство транспорта РФ. – Москва, 2008. – 259 с. : ил.

2. **Влияние** интеграционных процессов в международной транспортной инфраструктуре на развитие внешнеэкономического потенциала России / Е. В. Курников [Электронный ресурс]. – URL : http://library.sfedu.ru/D212-208-02/08-00-14/20100625_D212-208-02_08-00-14_KurnikovEV.doc (дата обращения 5.02.2014).

3. **Международные** транспортные коридоры : Евразия [Электронный ресурс]. – URL : http://www.eurasialegal.info/index.php?option=com_content&view=article&id=1853:2013-02-18-07-12-20&catid=1:eurasianintegration&Itemid=1 (дата обращения 5.02.2014).

4. **Всемирный** банк понизил логистический рейтинг России [Электронный ресурс]. – URL : http://www.logistdv.ru/node/9480 (дата обращения 24.08.2014).

5. **Коридор** или тупик? [Электронный ресурс]. – URL : http://www.odnako.org/almanac/material/koridor-ili-tupik/(дата обращения 24.08.2014).

6. **Федеральная** целевая программа «Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы)» (утв. постановлением Правительства РФ от 5 декабря 2001 г. № 848) [Электронный ресурс]. – URL : http://base.garant.ru/1587083/1/#block_10000 (дата обращения 24.08.2014).

7. **РИА-Новости.** Стратегия 2020. [Электронный ресурс]. – URL : http://strategy2020.rian.ru/news/20110527/366073541.html (дата обращения 24.08.2014).

8. **Создание** сети мультимодальных логистических центров увеличит транзитный потенциал страны [Электронный ресурс]. – URL : http://www.rg.ru/2011/04/26/tlts.html (дата обращения 24.08.2014).

9. **Развитие** системы национальный и международных транспортных коридоров на основе логистических центров / Т. А. Прокофьева [Электронный ресурс]. – URL : http://federalbook.ru/files/Infrastruktura/Soderjaniye/V/Prokofyeva.pdf (дата обращения 5.02.2014).

10. **Формирование** терминальной сети региона для организации перевозок грузов / О. Д. Покровская. – Москва : ТрансЛит, 2012. – 192 с.

11. **Усть-Луга :** реализация проекта комплексного развития морского торгового порта [Электронный ресурс]. – URL : http://www.кингисеппсегодня.рф/news/publication-185/(дата обращения 24.08.2014).

12. **Сервис** на транспорте : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / В. М. Николашин, Н. А. Зудилин, А. С. Синицына и др. ; под ред. В. М. Николашина. – Москва : Академия, 2008. – 272 с.

УДК 656.07

Ш. Ш. Ризакулов
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УЗБЕКИСТАНА

Рассмотрены вопросы безопасности движения поездов в привязке к материальным потерям от нарушений, понесенных компанией, проведён статистический анализ нарушений безопасности движения, представлены рекомендации по повышению надежности технических средств и профессионализма в обеспечении безопасности движения поездов. Решающую роль в обеспечении безаварийной работы Узбекистанских железных дорог играет улучшение взаимодействия предприятий различных хозяйств и повышение результативности и эффективности производственных процессов с учетом требований безопасности движения.

безопасность движения поездов, региональный железнодорожный узел, комплексное исследование, системный подход, объективная оценка.

Введение

Для решения основных производственных задач и повышения качества работы железнодорожного транспорта исключительную актуальность приобретает совершенствование средств обеспечения требуемого уровня безопасности движения на основе глубокого статистического анализа и широкого внедрения информационно-коммуникационных технологий.

До настоящего времени на железных дорогах Республики Узбекистан не проводилось комплексного исследования проблем обеспечения безопасности, что сказывается на качестве принимаемых решений. В то же время состояние безопасности движения на Узбекистанской железной дороге не может быть признано удовлетворительным, поэтому назрела необходимость в разработке теоретических, практических и методических вопросов, обеспечивающих системный подход к решению совокупности проблем безопасности движения.

1 Организационная структура и основные показатели деятельности ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари»

Государственно-акционерная железнодорожная компания (ГАЖК) «Ўзбекистон темир йўллари» – крупнейшая в Средней Азии. Компания образована указом президента республики от 7 ноября 1994 г. УП-982 на базе линейных подразделений, предприятий, организаций и учреждений системы железнодорожного транспорта, расположенных на территории Узбекистана.

В 2001 г. унитарное государственное предприятие «Ўзбекистон темир йўллари» преобразовано в открытое акционерное общество, где 100 % акций принадлежит государству [1]. В состав компании входят подразделения, обеспечивающие процесс перевозок, и шесть региональных железнодорожных узлов (РЖУ) с правами юридического лица: станции, дистанции пути, сигнализации и связи, энергоснабжения, локомотивные и вагонные депо,

пункты технического и коммерческого осмотра вагонов (рис. 1).

2 Обеспечение безопасности движения как комплексная задача

Комплексная задача организации безопасности движения (БД) включает в себя обеспечение надлежащего состояния технических средств, соблюдение технологии производства работ, выполнение требований повышения квалификации и дисциплины со стороны персонала и систему управления, соответствующую нормам и требованиям. Осуществление перевозок – сложнейший процесс, зависящий от слаженности и взаимодействия всех структур железнодорожного комплекса [2].

В последнее время безопасность движения поездов (БДП) вызывает особую озабоченность. В решениях правления ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари» отмечалось, что серьезные недостатки имеют место в обеспечении безопасности на железнодорожном транспорте. Особенно неблагоприятная обстановка сложилась на Бухарском и Ташкентском региональных железнодорожных узлах Узбекистана.

Крушения и аварии происходят в основном из-за изломов рельс, неисправности стрелочных переводов, нарушений правил приема и

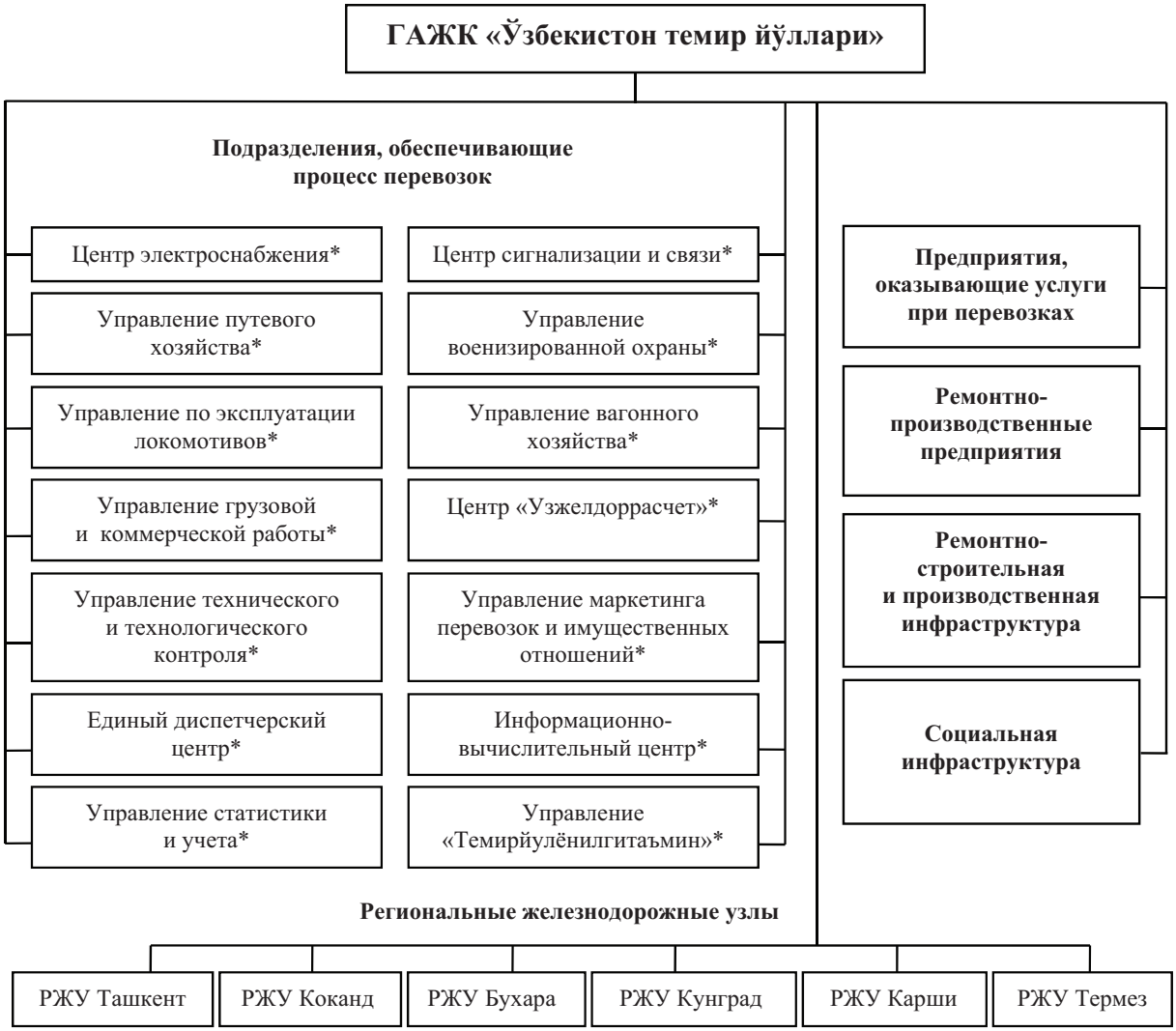


Рис. 1. Организационная структура ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари».
* – структурные подразделения без образования юридического лица

отправления поездов, кроме того, случаются сходы поездов, проезды машинистами запрещающих сигналов и нарушения технологического процесса.

Существенное влияние на обеспечение БДП оказывает уровень трудовой и технологической дисциплины работников железных дорог, нарушения правил эксплуатации, ремонта и содержания технических средств железнодорожного транспорта, связанных с движением поездов, неудовлетворительный контроль за соблюдением требований БДП.

3 Анализ данных по безопасности движения по видам нарушений и нанесенному ущербу

В табл. 1 собрана статистическая информация по количеству нарушений и классифицирована по видам брака за 2008–2013 гг., что характеризует положение дел с БД на железнодорожном транспорте Узбекистана [3]. Состояние БД характеризуется как количеством нарушений безопасности движения (НБД), так и размером ущерба от допущенных случаев. Как

ТАБЛИЦА 1. Статистические данные о состоянии БД на Узбекистанской железной дороге

Нарушения	Количество случаев брака					
	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Крушения	0	1	1	1	0	0
Аварии	0	1	0	0	0	1
Особые случаи брака, всего в том числе:	17	7	11	8	12	7
Сход подвижного состава в пассажирском поезде	0	0	2	0	0	0
Сход в организационном поезде	13	3	7	3	8	2
Отправление на занятый перегон	0	0	0	0	0	1
Прием и отправление поездов по неготовому маршруту	0	0	2	3	0	1
Уход вагонов	1	0	0	0	0	1
Перекрытие сигнала проездом	1	1	0	2	4	1
Проезд запрещающего сигнала	2	3	0	0	0	1
Случаи брака, в том числе:	24	24	25	28	23	19
Сходы при маневрах	6	9	8	7	8	1
Столкновения при маневрах	4	1	3	0	1	1
Взрез стрелки	2	1	5	2	1	4
Техническая неисправность локомотива	8	11	8	11	6	8
Техническая неисправность вагона	0	0	0	5	1	1
Прочее	4	2	1	3	6	4
Всего:	41	33	37	37	35	27

видно из табл. 1, тенденция случаев нарушения БДП остается практически без изменений на протяжении всего временно́го диапазона за исключением последнего года. Наибольший удельный вес имеют случаи технических неисправностей локомотивов и сходы при маневрах. Данная статистика в первую очередь говорит об изношенности локомотивного парка и о необходимости его обновления.

По данным табл. 2 наблюдается тенденция снижения аварийности на железных дорогах Узбекистана и повышения грузооборота. Таким образом, относительное количество НБД за 2008–2013 гг. снизилось почти в 2 раза.

В табл. 3 представлена статистическая информация о размерах ущерба, понесенного компанией в результате допущенных нарушений БДП за 2008–2013 гг. Четко виден неустойчивый характер динамики ущерба по годам. По этому показателю с 2008 г. прогресса не наблюдается. В то же время размер совокупного ущерба является более объективным показателем состояния БД, чем простое суммирование количества НБД.

ТАБЛИЦА 2. Грузооборот и относительные показатели БД за 2008–2013 гг.

Показатель	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Количество нарушений БДП	41	33	37	37	35	27
Грузооборот, млрд т-км	18	18,1	19,3	21,6	22,7	23,3
Относительное кол-во НБД на 1 млрд т-км	2,27	1,82	1,92	1,71	1,54	1,16

ТАБЛИЦА 3. Размеры ущерба в результате нарушений БДП

Показатель	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Ущерб от нарушений БДП, млн сум	112,8	1436,4	957,9	3295,9	154,4	238,1
Относительный ущерб от НБД на 1 млрд т-км	6,3	79,4	49,6	152,6	6,8	10,2

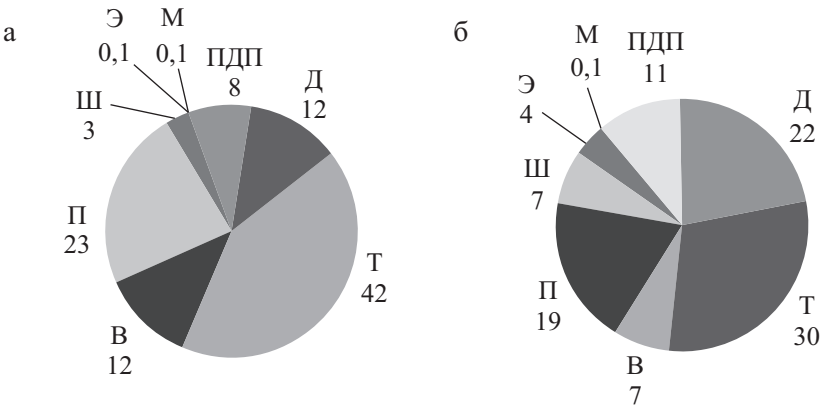


Рис. 2. Сравнение показателей нарушений БДП, %:
а) в 2008 г.; б) в 2013 г.; Д – организация перевозок; Т – эксплуатация локомотивов; В – вагонное хозяйство; П – путевое хозяйство; Ш – центр сигнализации и связи; Э – центр электроснабжения; М – грузовая и коммерческая работа; ПДП – предприятия дорожного подчинения

Благодаря поступлению новых электровозов удалось уменьшить количество брака в этом хозяйстве с 42 до 30% (рис. 2), но значительных изменений в улучшении БДП не наблюдается, что требует поиска новых решений данной проблемы.

Размер инвестиций напрямую влияет на уровень БД в хозяйствах. Так, уменьшение инвестиций в путевое хозяйство привело к резкому увеличению ущерба от случаев НБД (рис. 3).

4 Анализ положения дел с обеспечением безопасности движения в отделениях

На рис. 4 представлены статистические данные по ущербу от НБД по РЖУ Узбекистан-

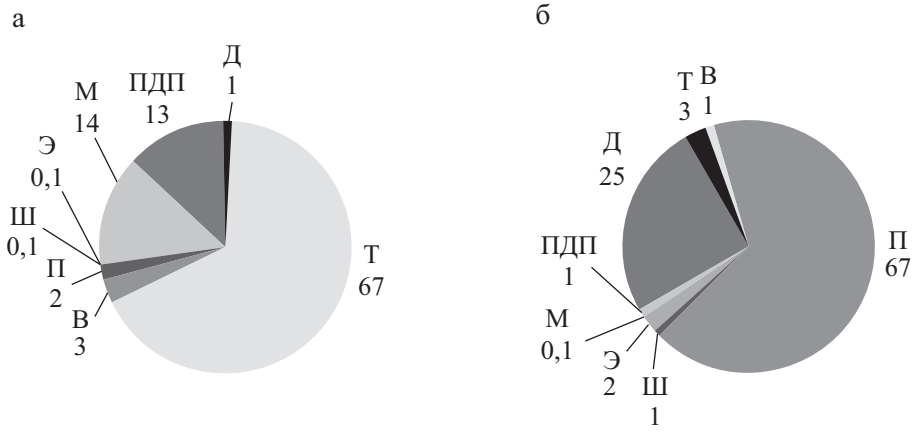
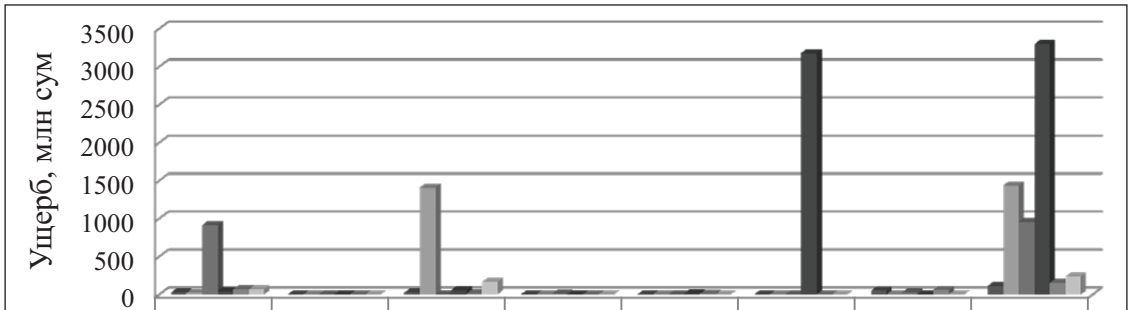


Рис. 3. Сравнение показателей ущерба по хозяйствам:
а) в 2008 г.; б) в 2013 г. Обозначения см. на рис. 2



	Ташкент	Коканд	Бухара	Кунград	Карши	Термез	ПДП	Всего
2008 г.	26,4	1,3	25,5	2,66	3,6	2,8	50,6	112,9
2009 г.	20,6	0	1408,4	1,7	2,7	2,5	0,5	1436,4
2010 г.	913	0	3,5	9,2	0,8	2,5	29,1	958,1
2011 г.	45,1	0	57	1	13,5	3177,4	1,9	3295,9
2012 г.	68,6	0,53	11,3	3,8	8,5	0	61,6	154,3
2013 г.	67,6	0	166,1	1,3	1,8	0	1,2	238

Рис. 4. Ущерб от НБД по РЖУ за 2008–2013 гг., млн сум

ской железной дороги за 2008–2013 гг. Здесь четко просматривается тенденция зависимости ущерба от НБД и от интенсивности движения поездов. Как видно из рис. 4, значительная часть всех нарушений приходится на Ташкентское и Бухарское РЖУ. При распределении инвестиций необходимо в первую очередь учитывать эти два региональных узла.

В данных подразделениях руководителям управлений, предприятий и непосредственным исполнителям требуется уделять больше внимания вопросам обеспечения БД.

Примером могут служить меры, принятые в РЖУ Термез после крушения в 2011 г. (рис. 5). После распоряжения председателя правления компании ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари» № 221-Н от 25 апреля 2011 г. «О мерах повышения безопасности движения поездов» были организованы пешеходные проверки со стороны руководителя подразделений дороги и состава отделения. В результате в 2012 и 2013 гг. по РЖУ Термез не было отмечено ни одного случая нарушения БДП.

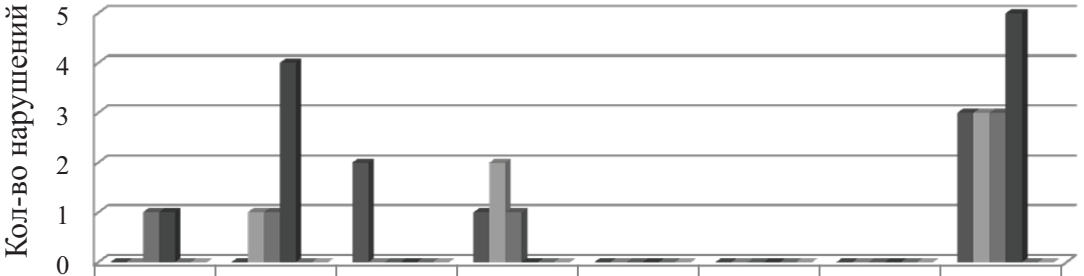
Изложенный аналитический и статистический материал свидетельствует, что за последние годы наметилась тенденция сокращения количества аварийных происшествий на сети железных дорог Узбекистана, однако ущерб от случаев НБД не уменьшился. В связи с этим состояние БД в целом в сети железных дорог Узбекистана не может быть признано удовлетворительным. Руководители подразделений Узбекистанской железной дороги должны опираться на более глубокий и продуманный анализ сложившейся ситуации и при проведении мероприятий по повышению БДП учитывать прежде всего экономическую составляющую.

Заключение

Увеличение потока грузооборота без необходимых инвестиций, направленных на комплексное обеспечение БДП, приводит к ухудшению показателей БДП. Темпы внедрения достижений научно-технического прогресса по обеспечению БДП и повышению надежности технических средств на железнодорожном транспорте должны опережать темпы увеличения объемов перевозок.

В системе управления имеются следующие недостатки:

• формализм в выполнении личных нормативов руководителей подразделений дороги;



	Д	Т	В	П	Ш	Э	М	Всего
2008 г.	0	0	2	1	0	0	0	3
2009 г.	0	1	0	2	0	0	0	3
2010 г.	1	1	0	1	0	0	0	3
2011 г.	1	4	0	0	0	0	0	5
2012 г.	0	0	0	0	0	0	0	0
2013 г.	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 5. Количество нарушений по РЖУ Термез

• слабое распространение передового опыта, недостаточное внимание наставничеству на производстве;

• недостаточная полнота и достоверность данных о БД.

Для стабилизации состояния БДП необходимо принять следующие меры:

1) в основу комплексной оценки состояния БД положить экономический ущерб от допущенных случаев НБД и отказов технических средств;

2) учитывать отказы в работе технических средств и нарушения технологии производства работ для более объективной оценки состояния БД;

3) организовать дополнительные тематические семинары с ведущими специалистами в конкретных технических областях и в сфере управления с целью повышения квалификации работников компании.

Библиографический список

1. **Комплексная** программа развития и модернизации железнодорожной отрасли на 2009–2013 гг. / А. Ж. Раматов. – Ташкент, 2009. – 27 с.

2. **Безопасность** движения на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / А. Е. Красковский, С. Я. Ройтман. – Санкт-Петербург : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2013. – 48 с.

3. **Анализ** состояния безопасности движения на железных дорогах ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари» за период 2008–2013 гг. – Ташкент, 2014. – 32 с.

→ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ТРАНСПОРТУ

УДК 625.17

А. В. Андреев
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ НА СТОИМОСТЬ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

Разрабатывается методика выбора конструкции верхнего строения пути для различных климатических и эксплуатационных условий, исходя из стоимости жизненного цикла. Для этого анализируется изменение технического состояния рельсовой колеи и выхода элементов верхнего строения пути в зависимости от климатических и эксплуатационных условий. Сравниваются промежуточные скрепления различного типа, анализируется работа и составляющие стоимости жизненного цикла для конструкции пути со скреплениями различного типа.

жизненный цикл, стоимость жизненного цикла, текущее содержание пути, верхнее строение пути, промежуточные скрепления, УРРАН.

Введение

Проблема выбора конструктивных параметров железнодорожного пути появилась с начала строительства первой железной дороги между Царским Селом и Санкт-Петербургом и продолжает быть актуальной до сего дня. Проблема состоит в том, что нужно найти то сочетание элементов верхнего строения пути (ВСП), при котором путь будет работать надежно, воспринимая большие нагрузки, обеспечивая максимальную экономичность в эксплуатации.

С введением понятия жизненного цикла и его стоимости работа пути стала рассматриваться как совокупность взаимосвязанных процессов, происходящих в течение периода времени с этапа создания объекта и до его утилизации [1]. Расчет стоимости жизненного цикла (СЖЦ) предполагает определение суммарного значения стоимости затрат на объект инфраструктуры в течение пяти этапов: разработки, приобретения, установки, владения и утилизации. Для разработки нормативных документов по ведению путевого хозяйства необходимы технические критерии оптимальной эксплуатации пути, отражающие его стоимость жизненного цикла [2].

1 Определение затрат при текущем содержании пути

Все этапы жизненного цикла имеют общий характер для любого объекта железнодорожной инфраструктуры. Жизненный цикл для ВСП может быть представлен схематично (см. рисунок).

Для нахождения СЖЦ используют следующую формулу:

Этапы жизненного цикла верхнего строения пути

$$СЖЦ = \\ = С_{разр.} + С_{приобр.} + С_{укл.} + С_{ТС} + С_{зам.}, \quad (1)$$

где $С_{разр.}$ – стоимость разработки проекта капитального ремонта (реконструкции); $С_{приобр.}$ – стоимость приобретения элементов ВСП; $С_{укл.}$ – стоимость сборки рельсошпальной решетки и укладки ВСП; $С_{ТС}$ – стоимость технического содержания пути; $С_{зам.}$ – стоимость замены ВСП и его утилизации.

При рассмотрении понятия стоимости жизненного цикла необходимо использовать также методологию УРРАН, которая является развитием зарубежного аналога – методологии RAMS [3]. Суть методологии RAMS заключается в мониторинге элементов инфраструктуры с точки зрения их безотказного, ремонтопригодного и безопасного состояния. В методологии УРРАН к этим понятиям добавляются долговечность конструкций и экономичность эксплуатации объектов [4]. В данной методологии минимизация СЖЦ является обязательным условием оптимизации при эксплуатации объекта инфраструктуры.

Основным этапом, на котором происходит механическое воздействие на объект инфраструктуры, является этап «владения». Применительно к ВСП этап «владения» представляет собой этап «текущее содержание пути».

Из отраслевых стандартов ОАО «РЖД» [1] стоимость владения находится как сумма затрат:

$$С_{вл.} = З_{ЕВ} + З_{Э} + З_{пл.ТОиР} + З_{непл.ТОиР}, \quad (2)$$

где $З_{ЕВ}$ – единовременные затраты на ввод в эксплуатацию; $З_{Э}$ – затраты на эксплуатацию; $З_{пл.ТОиР}$ – затраты на плановое техническое обслуживание и ремонты; $З_{неоплл.ТОиР}$ – затраты на неплановое техническое обслуживание и ремонты.

Все затраты направлены на организацию либо ремонтных работ, либо работ технического обслуживания (текущего содержания пути), поэтому формула (2) преобразуется в выражение

$$С_{вл.} = З_{ТСП} + З_{Р}, \quad (3)$$

где $З_{ТСП}$ – затраты на выполнение работ текущего содержания пути; $З_{Р}$ – затраты на выполнение ремонтных работ.

В этой формуле текущее содержание и ремонты рассматриваются совместно. Чтобы правильно анализировать состояние пути, следует разделить эти два понятия.

Рассмотрим более подробно затраты при текущем содержании пути. Они делятся на прямые, накладные и прочие. В данном случае к прямым будут относиться затраты на оплату труда монтеров пути, на эксплуатацию машин и механизмов и на материалы верхнего строения пути. Накладные и прочие затраты определяются в соответствии с действующими нормативами. Дополнительными затратами также являются затраты из-за простоев поездов.

В итоге формула для нахождения затрат при текущем содержании пути будет выглядеть таким образом:

$$З_{ТСП} = \sum_{i=1}^{n} З_i^{раб} W_i^{раб} + \\ + \sum_{i=1}^{n} З_i^{маш} W_i^{маш} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} З_j^{мат} \times \\ \times M_j^{мат} + \sum_{k=1}^{q} З_k^{п.п.} \cdot t_k + З_{н} + З_{пр}, \text{ руб.}, \quad (4)$$

где i, j, k – индексы, показывающие, что затраты относятся, соответственно, к отдельным

работам (от 1 до n), материалам (от 1 до m), поездам (от 1 до q); $З_i^{раб}$ – затраты на оплату труда монтеров пути за единицу объема работы, руб./ед. об.; $З_i^{маш}$ – затраты на работу машин и механизмов за единицу объема работы, руб./ед. об.; $W_i^{раб}$ – объем работы, выполняемой монтерами пути, ед. об.; $W_i^{маш}$ – объем работы, выполняемой машинами и механизмами, ед. об.; $З_k^{п.п.}$ – затраты, связанные с увеличением времени хода поезда k, руб./ч; t_k – время простоя поезда k, час; $З_j^{мат}$ – затраты на материалы для выполнения единицы работы, руб./ед. об.; $M_j^{мат}$ – количество материала для выполнения единицы работы, ед. об.; $З_н$ – накладные затраты; $З_{пр}$ – прочие затраты.

Затраты на оплату труда монтеров пути и работу машин и механизмов определяются по нормативам, используемым в путевом хозяйстве.

Основными исходными данными для определения стоимости жизненного цикла являются объемы работ ($W_i^{раб}$ и $W_i^{маш}$). Источником данных для расчетов является база данных автоматизированной системы управления путевого хозяйства (АСУ-П).

2 Анализ промежуточных скреплений при различных климатических и эксплуатационных условиях

Количество неисправностей рельсовой колеи и объемы выхода в год элементов верхнего строения пути по мере наработки тоннажа изменяются по определенным зависимостям, описание которых приведено в методике прогнозирования технического состояния участков пути, разработанной на кафедре «Железнодорожный путь» ПГУПС [5]. Модель включает три периода эксплуатации железнодорожного пути: период приработки, период нормальной работы и период нарастания неисправностей. Тот же самый вид зависимости можно использовать и для объемов работ, направленных на ликвидацию этих неисправностей.

В ходе исследования был проведен анализ работы пути с различными промежуточными скреплениями АРС, КБ и ЖБР. На основе анализа построены графики зависимостей, соответственно, одиночного выхода рельсов, негодности скреплений, среднего числа отступлений по ширине колеи, в плане, по уровню и в профиле, а также общих затрат на работы текущего содержания ВСП от наработки тоннажа.

Характеристики верхнего строения пути на рассматриваемых участках: рельсы Р65, закаленные, бесстыковой путь на железобетонных шпалах и щебеночном балласте. Анализ данных конструкций пути был произведен на участках с различными эксплуатационными и климатическими условиями. Аналогичные анализы проведены для всех видов эксплуатационных и климатических условий: высокогрузонапряженные участки, участки с высокой долей пассажирского движения, участки с кривыми малого и среднего радиуса, перевальные участки и участки с высокой продолжительностью зимнего периода.

На основе анализа сравнивалась работа пути со скреплениями марки КБ, ЖБР и АРС. Чтобы выбрать лучший вид скрепления, проводился их анализ до наработки 700 млн т брутто, которая является критерием для назначения капитальных ремонтов бесстыкового пути [6]. В таблице в качестве примера приведены сводные результаты анализа состояния пути для участков скоростного и высокоскоростного движения. Выделены наилучшие показатели по каждому условию рассмотрения.

В результате анализа можно сделать следующие выводы. Показатели одиночного выхода рельсов и негодности скреплений при использовании скрепления типа КБ достаточно высоки. При высоких скоростях динамика воздействия на элементы ВСП повышается, тем самым способствуя ослаблению затяжки закладных и клеммных болтов. Кроме этого, жесткость скрепления КБ обусловливает более интенсивный выход скрепления из строя. Скрепления АРС и ЖБР ведут себя приблизительно одинаково.

При рассмотрении среднего числа отступлений по ширине колеи можно отметить высокий показатель этой неисправности на участках со

Анализ скреплений до наработки 700 млн т брутто

Объект	Тип скреплений			
	Все виды скреплений	АРС	ЖБР	КБ
Одиночный выход рельсов, шт./год	0,86	0,54	**0,37**	0,93
Негодность скреплений, %	5,19	0,36	**0,27**	5,18
Среднее число отступлений по ширине колеи, шт.	0,98	2,58	**0,42**	0,83
Среднее число отступлений в плане, шт.	0,03	**0,00**	0,01	0,03
Среднее число отступлений по уровню и в профиле, шт.	2,86	**1,35**	7,90	2,89
Общие затраты на работы текущего содержания ВСП, млн руб.	0,41	**0,22**	0,47	0,44

скреплением АРС (по сравнению со скреплениями типа ЖБР и КБ) из-за несовершенства конструкции.

Зависимость среднего количества отступлений по уровню и в профиле от наработки тоннажа показывает, что число отступлений на пути со скреплением ЖБР гораздо выше, чем у скреплений других видов, а упругое скрепление АРС показывает наилучшие показатели.

При рассмотрении затрат на работы текущего содержания ВСП видно, что в условиях скоростного и высокоскоростного движения скрепления КБ и ЖБР дороже обходятся дороге в эксплуатации, чем анкерное скрепление типа АРС.

Заключение

Окончательное решение по выбору конструкции пути для различных условий эксплуатации должно приниматься по техническим критериям, основанным на изменении технического состояния пути в течение жизненного цикла и стоимости жизненного цикла. Следующим этапом приведенного исследования является разработка этих критериев.

Библиографический список

1. **СТО РЖД 02.037–2011.** Управление стоимостью жизненного цикла систем, устройств и оборудования хозяйств ОАО «РЖД». Управление ресурсами на этапах жизненного цикла, рисками и анализом надежности (УРРАН). – Москва : Изд-во стандартов, 2011. – 28 с.

2. **Выбор** оптимальной конструкции пути в зависимости от стоимости жизненного цикла / В.П. Бельтюков // Проблемы взаимодействия пути и подвижного состава : Тр. междунар. науч.-практич. конф., Днепропетровск, 18–19 сент. 2013 г. – Днепропетровск : ДИИТ, 2013. – С. 60–61.

3. **Рекомендации** по применению ключевых показателей УРРАН в хозяйствах инфраструктуры : Распоряжение ОАО «РЖД» от 2011 г.

4. **Инновационные** подходы в развитии инфраструктуры / М.А. Чернин // Евразия Вести. – 2012. – № 9. – С. 7.

5. **Методика** прогнозирования технического состояния участков пути : окончат. ред. / В.П. Бельтюков и др. // Технические условия на работы по реконструкции (модернизации), ремонту и планово-предупредительной выправке пути : отчет о НИР. Шифр темы № 10.2.022.Р. Санкт-Петербург : ПГУПС, 2011.

6. **Технические** условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути : Распоряжение ОАО «РЖД» № 75 р. от 18 янв. 2013 г.

УДК 621.318

М. С. Астров, Е. Р. Запретилина, О. А. Ковальчук, И. Ю. Родин, С. Б. Федотова
ФГУП «Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им. Д. В. Ефремова» (ФГУП «НИИЭФА им. Д. В. Ефремова»)

СВЕРХПРОВОДНИКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОДУЛЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ

ФГУП «НИИЭФА им. Д. В. Ефремова» имеет более чем пятидесятилетний опыт создания сверхпроводящих магнитов и устройств. В качестве наиболее известных проектов можно выделить магнитные системы УНК, ТСП, Т-15, Глобус-М, ИТЭР и многие другие. Наряду с традиционными низкотемпературными сверхпроводниками в настоящее время интенсивно развивается ВТСП-технология. НИИЭФА владеет технологией и обладает необходимым опытом для проектирования, изготовления и испытаний сверхпроводящих катушек (унифицированного модуля) транспортной системы магнитной левитации.

сверхпроводящий магнит, УТС, СПИН, объемные ВТСП, магнитная левитация.

Введение

Техническая сверхпроводимость развивается в НИИЭФА им. Д. В. Ефремова с 1960-х годов. Основным направлением было создание магнитных систем термоядерных реакторов. При разработке ряда токамаков НИИЭФА выступал в качестве предприятия – главного конструктора. К числу этих установок относятся Т-10, Т-15, ТСП, КТМ, Глобус-М и ряд других. Технология сверхпроводящей (СП) магнитной системы является одной из ключевых в управляемом термоядерном синтезе (УТС) с магнитным удержанием плазмы. В НИИЭФА впервые в мире была спроектирована и изготовлена Nb_3Sn-обмотка тороидального поля (рис. 1). В начале 2000-х крупным вкладом в международную термоядерную программу стало создание модельной катушки на ток 46 кА в поле 13 Тл при запасаемой энергии 600 МДж (рис. 2); эта работа выполнялась в рамках международного проекта ИТЭР (ITER – International Thermonuclear Experimental Reactor). В настоящее время НИИЭФА, продолжая участвовать в ИТЭР (рис. 3), осуществляет разработку и изготовление Nb_3Sn-катушки полоидального поля PF1 (рис. 4). Близкими к магнитным системам токамаков параметрами обладают магниты для индуктивных накопителей энергии (СПИН), также традиционно входящие в круг работ НИИЭФА.

Для обеспечения этих работ в НИИЭФА освоен промышленный выпуск комплектующих СП магнитных систем СПИН и токамаков – криостатов, криогенных токовводов, защитных коммутаторов, электроизоляционных развязок криогенных трубопроводов (рис. 5). Созданы уникальные стенды (рис. 6) для их приемо-сдаточных испытаний, на которых в настоящее время проводятся исследования. Освоенные технологии могут быть использованы для решения смежных задач, в частности для разработки систем магнитной левитации.

1 Низкотемпературные сверхпроводниковые (НТСП) магниты и устройства

1.1 Установка УТС LDX

Альтернативный традиционным установкам с магнитным удержанием плазмы (токамакам, стеллараторам) способ УТС был предложен учеными Колумбийского универ-

Рис. 1. Один из 12 монтажных блоков сверхпроводящей обмотки тороидального поля (ОТП) токамака Т-15, изготовленной на заводе ЭФО в НИИЭФА

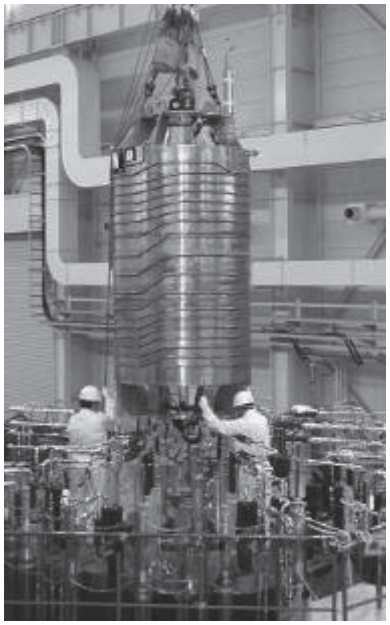


Рис. 2. Монтаж Российской модельной катушки-вставки, разработанной и изготовленной в НИИЭФА, на международном испытательном стенде ИТЭР в Японии. 2001 г.

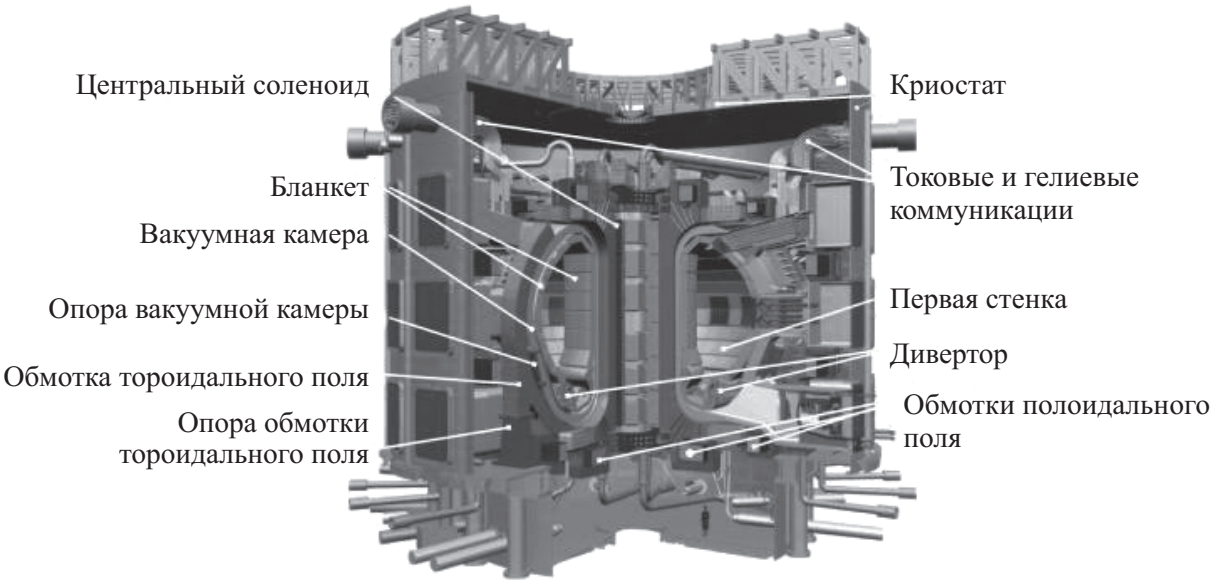


Рис. 3. Международный реактор ИТЭР, по параметрам и размерам близкий к будущим термоядерным электростанциям

ситета (Columbia Univ.) и Массачусетского технологического института (MIT) [1]. В этой концепции горячая плазма удерживается сравнительно простой дипольной магнитной системой, магнитное поле которой напоминает по конфигурации магнитное поле Земли и других планет. При размещении дипольного магнита внутри облака плазмы турбулентные

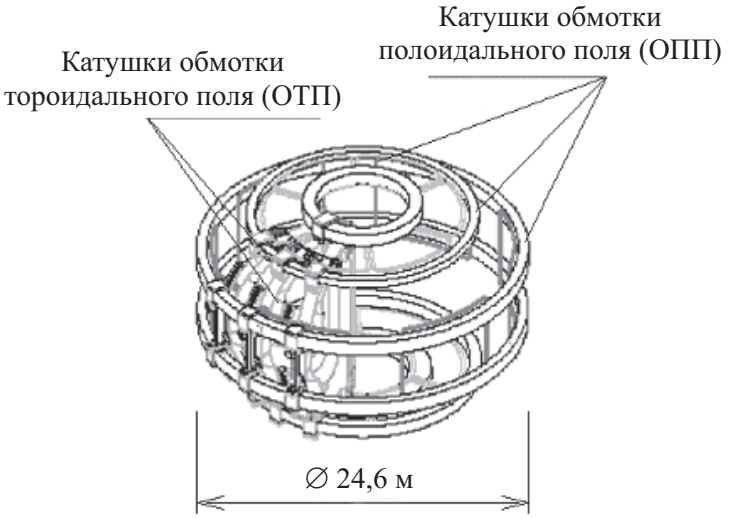
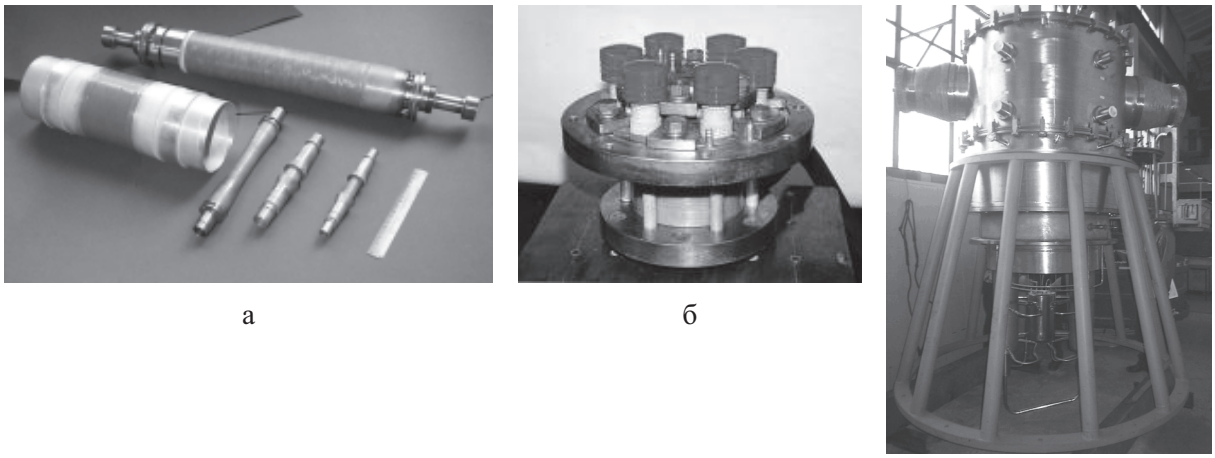


Рис. 4. Конфигурация и размеры СП магнитной системы ИТЭР. Катушка полоидального поля PF1 (диаметр 9 м, масса 225 т) изготавливается НИИЭФА



а б в

Рис. 5. Комплектующие СП магнитных систем, выпускаемые в НИИЭФА:
а) электроизоляционные развязки криогенных трубопроводов, промышленно выпускаемые малыми сериями; б) промышленный образец защитного коммутатора для ИТЭР и СПИН (ток до 70 кА, напряжение до 30 кВ); в) промышленный образец блока токовых вводов на 4–80 кА, 30 кВ для СПИН и токамаков (поставлено в 2002 г. в США для СПИН на 100 МДж)

потоки в плазме не снижают ее концентрации (как это происходит в токамаках), а наоборот, увеличивают, что перспективно с точки зрения УТС. Практически концепция была реализована в ходе эксперимента с левитирующим диполем (Levitated Dipole Experiment – LDX), начатого в 2004 г., и перешедшему к исследованию режимов левитации в 2008 г. Установка включает в себя 1) левитирующий диполь (Nb_3Sn магнит с собственным резервуаром жидкого гелия); 2) зарядную NbTi катушку; 3) высокотемпературный сверхпроводниковый (ВТСП) магнит системы левитации; 4) корректирующие катушки (рис. 7). Система левитации необходима для исключения искажений магнитного поля опорами, равно как

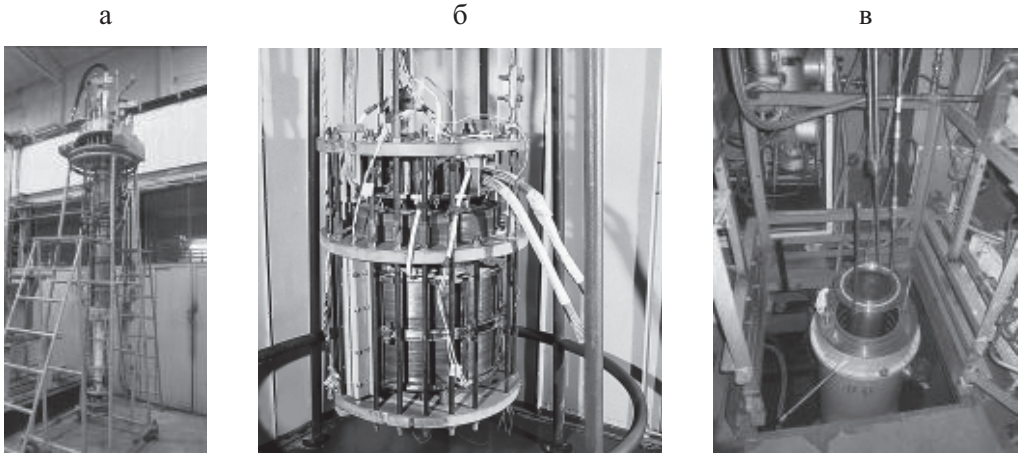


Рис. 6. Стендовые установки НИИЭФА для испытаний обмоточных сверхпроводников и комплектующих СП магнитных систем СПИН и токамаков: а) стенд для проведения комплексных испытаний СП образцов; б) установка ЛИС-12 для проведения испытаний в полях до 12 Тл, при токах до 100 кА; в) высоковольтный стенд

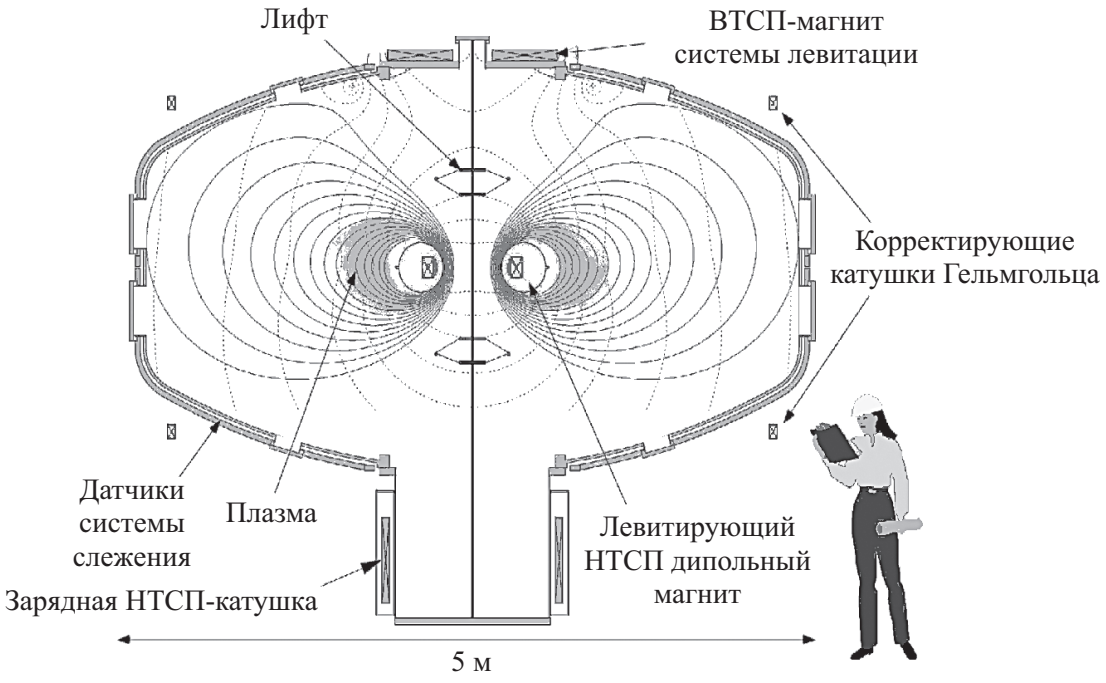


Рис. 7. Эксперимент с левитирующим диполем (LDX). Основные системы LDX

и их возможного влияния на характеристики плазмы. Точность поддержания положения 600 кг дипольного магнита в центре камеры составляет ± 0,5 мм. Положение контролируется с помощью лазерной системы слежения.

В левитирующей Nb_3Sn-катушке (рис. 8) наводился ток 1,5 МА в поле 6 Тл при уровне запасаемой энергии 800 МДж. Запаса гелия 1,5 кг хватало на 8 ч левитации. Криостат сложной конструкции, состоящий из трех концентрических торов, обеспечивал теплоприток менее 1 Вт на температурный уровень 4,2 К, при этом толстостенный гелиевый сосуд был рассчитан на давление 125 атм.

Магнит системы левитации (рис. 9), ставший первым в мире применением ВТСП-

Рис. 8. Левитирующий НТСП дипольный магнит LDX

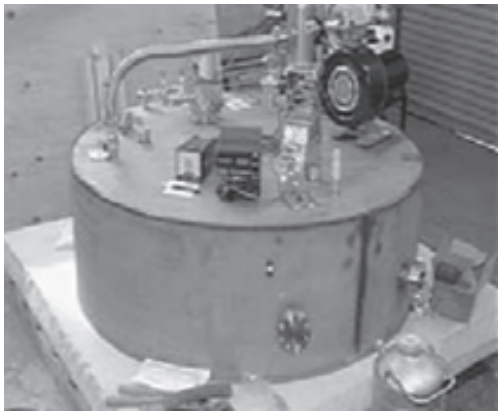


Рис. 9. ВТСП-магнит системы левитации LDX

обмоток в установках УТС, изготавливался из проводника BSSCO-2223. Потери энергии менее 20 Вт на уровне температур 20–25 К снимались с помощью криокулера.

Зарядная NbTi-катушка используется для индукционного заведения рабочего тока в левитирующую катушку в начальной фазе эксперимента и вывода из нее тока в заключительной фазе. Разработку и изготовление зарядной катушки выполнил НИИЭФА [2]. Требования к проводнику включали в себя: а) ограничение максимальной температуры $T_{max} < 150$ К; б) ограничение максимального напряжения $V_{max} = 3$ кВ; в) исключение эффекта тренировки, что определило выбор рабочей точки $I = 0{,}4I_c$; $\varepsilon < 0{,}2\%$, обеспечивающей низкий уровень допустимых механических нагрузок на проводник; г) требование использовать коммерчески доступные недорогие стренды (выбор был сделан в пользу стрендов СКНТЭ – 0,86-0,42-2970). Компактированный пропаянный СП кабель (рис. 10) с высокой долей стабилизирующей меди был изготовлен ОАО «ВНИИКП» и предварительно испытан в НИИЭФА. Основные параметры зарядной катушки приведены в табл. 1. Фотографии иллюстрируют основные этапы изготовления зарядной катушки (рис. 11).

Криостат для зарядной катушки обеспечивал низкий уровень теплопритоков излучением к гелиевому уровню (0,11 Вт), что оказалось возможным за счет нанесения специальных высокоотражающих покрытий (рис. 11и) со степенью черноты менее 0,004. Используемая технология, совместно разработанная НИИЭФА и ОКБ «Криовакс» (Санкт-Петербург), – модификация ранее применявшейся в ОКБ «Криовакс» для изготовления имитаторов космоса и криогенных сверхвысоковакуумных насосов. Для снижения остаточного давления в вакуумной полости до 10^{-7} торр и соответствующего снижения конвекционных теплопритоков до 0,02 Вт на гелиевом уровне температур применялись сорбционные криопанели. Общий расход гелия составил 30 л/день (0,9 Вт), что было признано очень хорошей величиной для криостата диаметром 2,5 м с «теплым» отверстием 1,2 м [2].

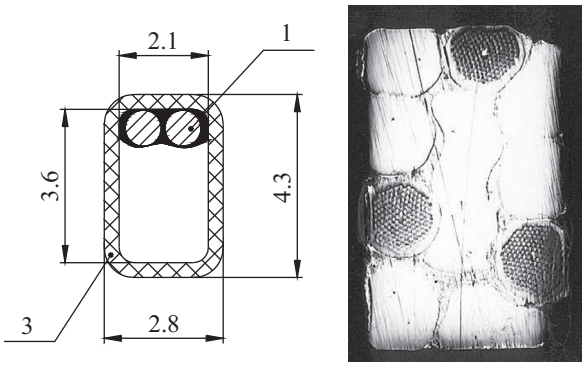


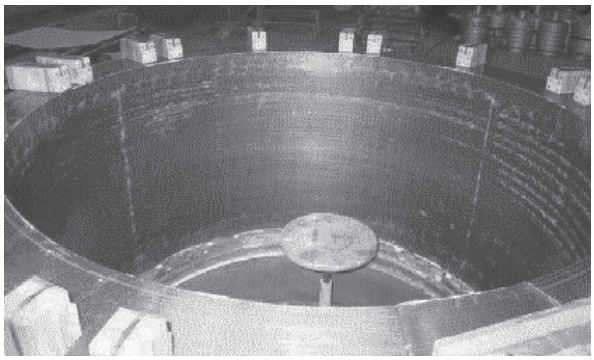
Рис. 10. NbTi/Cu кабель, разработанный НИИЭФА/ВНИИКП для зарядной катушки LDX (формула кабельной скрутки 1 (Cu 1,5) + [3 (SC 0,85) + 6 (Cu 0,85)] при отношении Cu : NbTi = 8,6 : 1)

ТАБЛИЦА 1. Зарядная катушка LDX

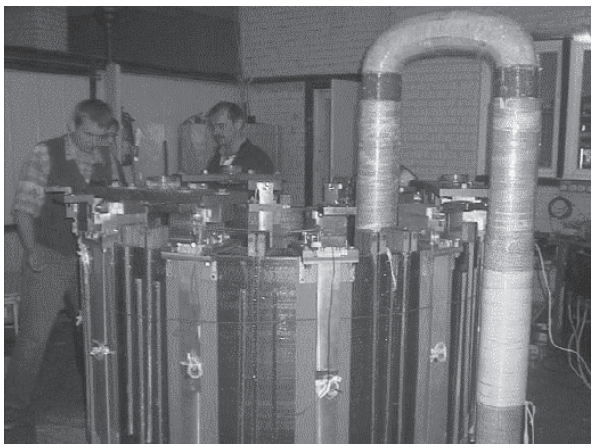
Длина проводника, км	38
Число витков	8388
Рабочий ток А	435
Напряжение, кВ	3
Максимальное поле, Тл	4,3
Запасаемая энергия, МДж	12
Полный вес обмотки, кг	3140
Полный вес криостата, кг	10 000
Диаметр теплого отверстия, м	1,2
Режим работы	2 цикла/день
Время ввода/вывода энергии в левитирующую катушку, мин	30

а

б



в



г

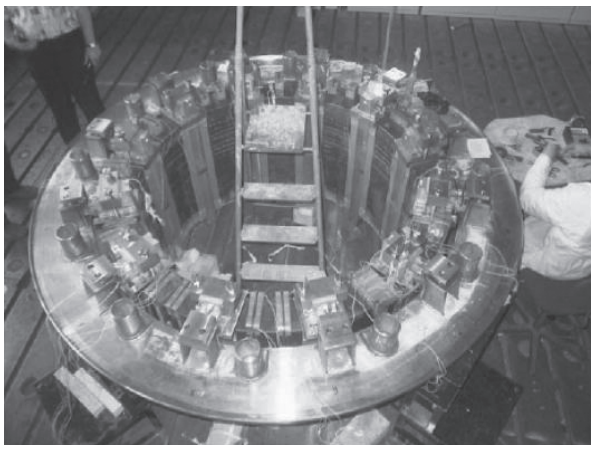
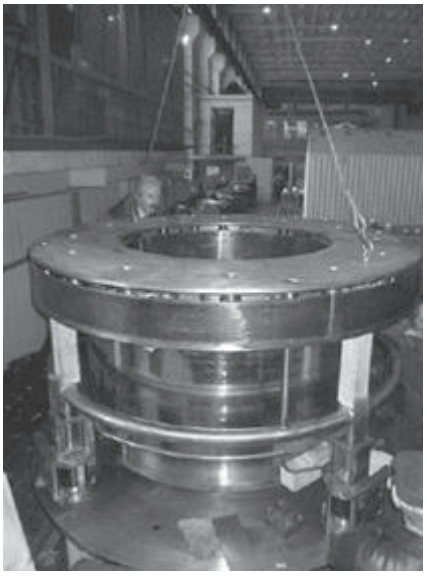
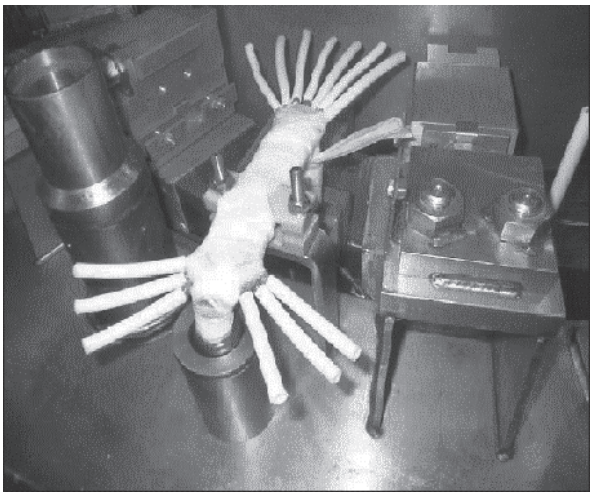


Рис. 11 (начало). Основные этапы изготовления зарядной катушки LDX:
а) намотка катушки 38 км NbTi-кабелем; б) обмотка после пропитки компаундом;
в) высоковольтные испытания; г) катушка спущена в криостат

д

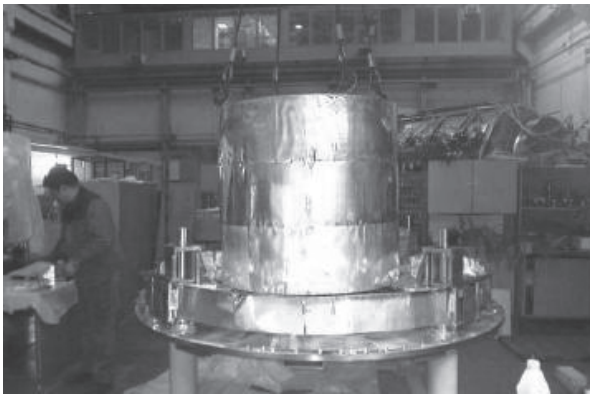


е



ж

з



и

к

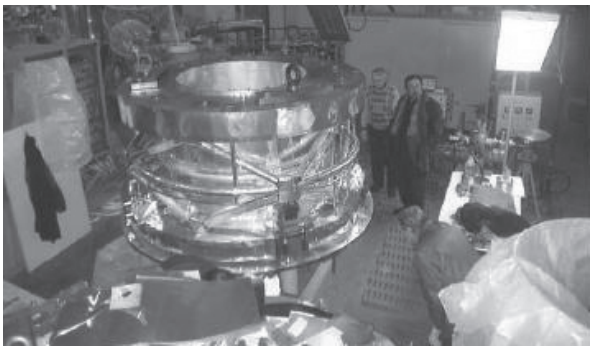


Рис. 11 (продолжение). Основные этапы изготовления зарядной катушки LDX: д) сварка гелиевой оболочки; е) организация попарно охлаждаемых выводов; ж) азотный медный экран перед установкой; з) установлена внутренняя азотная емкость; и) установка нержавеющих листов, покрытых монокристаллическим Al; к) установлена гелиевая емкость

л

м

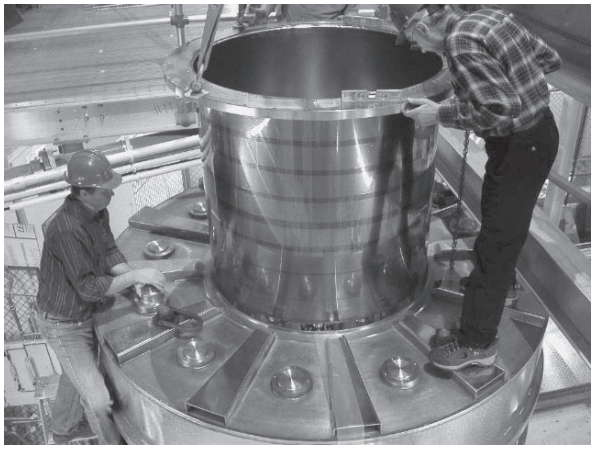


Рис. 11 (окончание). Основные этапы изготовления зарядной катушки LDX:
л) наружный вакуумный сосуд, опускаемый в процессе сборки (с уже установленной наружной азотной емкостью); м) монтаж зарядной катушки в MIT

В ходе проектирования зарядной катушки решена задача разработки схемы защиты. Вывод энергии осуществлялся на защитный резистор с постоянной времени $\tau = 17$ с. При этом требовалось исключить влияние левитирующей катушки на работу системы детектирования появления нормальной зоны. Оптимальным оказался вариант 6-канальной системы детектирования, в котором обмотка была разбита на 4 участка и независимо контролировались все 4 сигнала; при превышении уровня 30 мВ на каком-либо из участков начинался вывод тока; два дополнительных канала использовались для мониторинга работы токовводов.

После изготовления зарядная катушка была доставлена в Бостон (рис. 11е) и успешно испытана в экспериментах LDX.

1.2 Модельный ряд НТСП СПИН

Запасаемая энергия зарядной катушки составляла 12–17 МДж при рабочем токе в диапазоне 440–550 А с максимальным полем на обмотке около 5 Тл. Это позволило использовать этот магнит (конструктивные и технологические решения) как прототип (рис. 12) при разработке модельного ряда [3] НТСП СПИН на диапазон энергоемкостей вплоть до 1000–2000 МДж из модулей на запасаемую энергию 24–133 МДж. Расчетно-конструкторские работы по СПИН (табл. 2, рис. 13) были выполнены НИИЭФА по заказу ФСК «РАО ЕЭС».

Варианты СПИН, приведенные в табл. 2, предусматривают циркуляционное гелиевое охлаждение. Используется проводник типа «кабель в оболочке» разработки ОАО «ВНИИКП» на максимальный ток 2 кА в поле 5 Тл. Конструкция модулей энергоемкостью до 133 МДж оптимизирована по расходу проводника и минимуму тепловых потерь при заданном внешнем диаметре криостата 3,5 м, что допускает транспортировку автомобильным транспортом. Рассмотрены способы коммутации модулей в единую систему в зависимости от требований по энергоемкости, мощности, по ограничениям на уровень рассеянного магнитного поля. Анализ стоимости изготовления выявил экономическую целесообразность применения соленоидальных модулей перед тороидальными, несмотря на повышенный расход

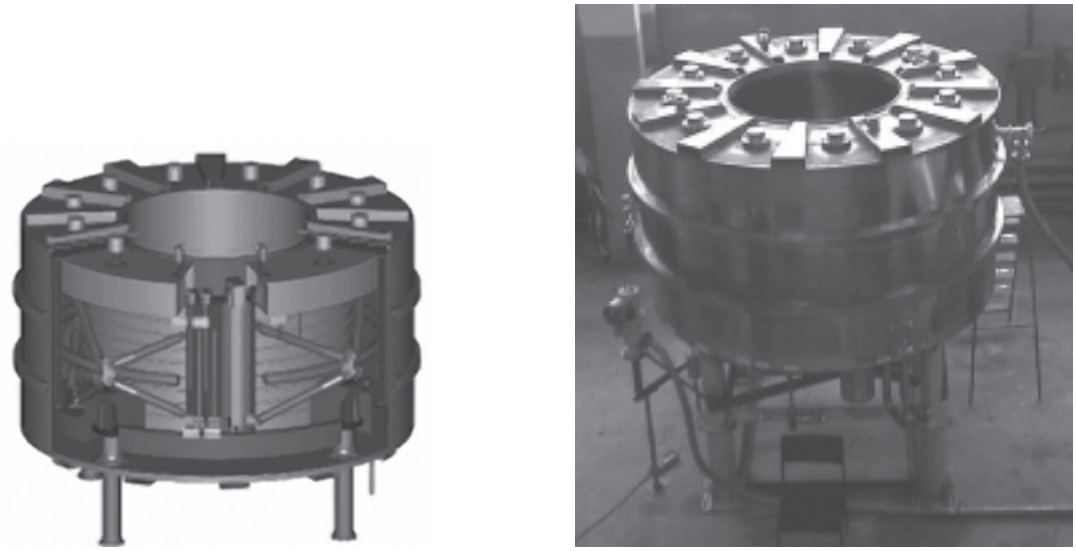


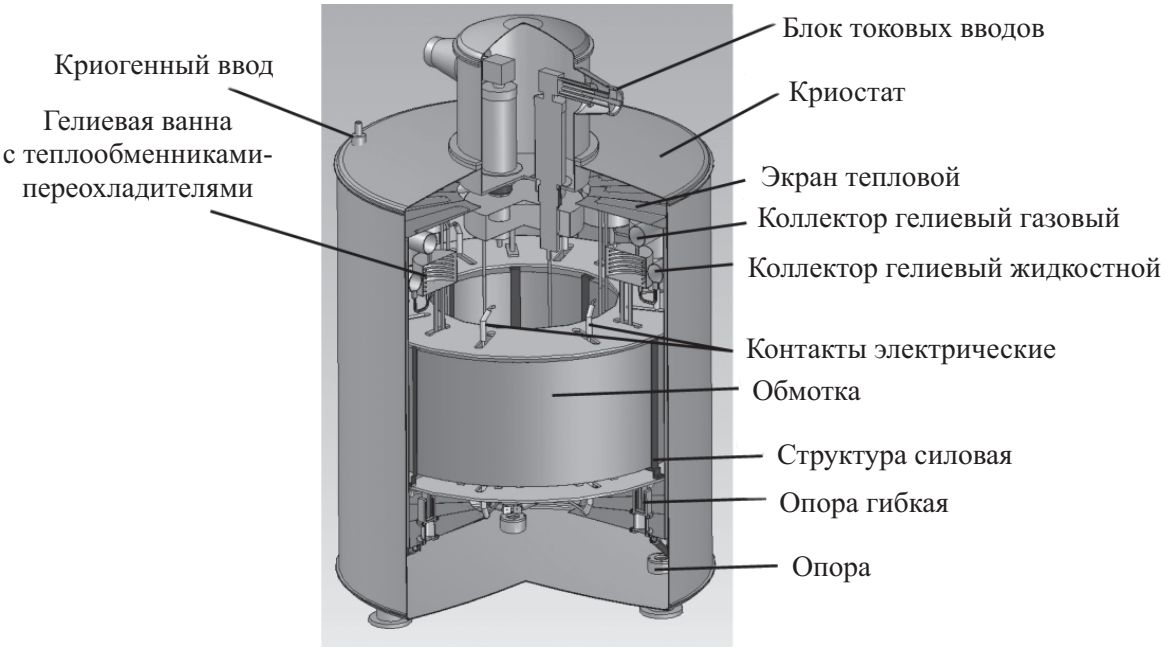
Рис. 12. Многоцелевой сверхпроводящий соленоид с «теплой» апертурой диаметром 1 м. Запас энергии 12–17 МДж; напряжение 3 кВ. Допускает разряд мощностью 1,5 МВт. Разработка НИИЭФА 2002 г.

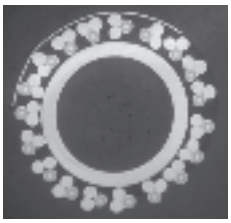
ТАБЛИЦА 2. Расчетные конструктивные характеристики модулей СПИН с циркуляционным охлаждением и тепловые нагрузки на гелиевую криогенную систему СПИН в режиме ожидания

Энергоемкость, МДж	24	66,6	133,2	300	1200	4800
Внутр. диам. обмотки, м	0,74	1,81	2,13	4,06	7,91	10,78
Наруж. диам. обмотки, м	3,15	3,15	3,15	6,0	9,5	12,0
Высота обмотки, м	0,45	1,24	2,59	1,05	1,81	4,57
Длина проводника, км	18,0	32,5	54,8	80,6	144,0	346,7
Теплоприток на уровень 4,5 К, Вт						
– излучением[1]	1,2	1,5	1,8	1,9	3,3	6,7
– по остаточному газу	0,34	0,42	0,55	0,66	1,1	2,2
– по опорам[2]	0,69	1,2	2,1	3,0	7,4	18,5
– потери в контактах	1,1	1,9	3,1	4,6	11,3	28,4
– по токовводам	4,8	4,8	4,8	19,2	19,2	76,8
– общая нагрузка на криогенную систему в режиме ожидания, q_o	**8,1**	**9,8**	**12,4**	**29,5**	**42,2**	**132,7**

Примечания. [1] – изоляция с применением высокоотражающих покрытий (степень черноты < 0,03); [2] – сейсмостойкое исполнение криостата.

сверхпроводника. С целью ограничения полей рассеяния предложено встречно-параллельное включение соленоидальных модулей; также возможно применение конструкции модуля типа «соленоид в соленоиде». При необходимости создания СПИН высокой энергоем-





Используется обмоточный сверхпроводник типа «кабель в оболочке» на основе NbTi базовых многоволоконных композитных стрендов.

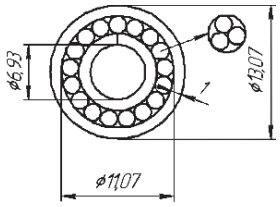


Рис. 13. Модуль накопителя энергоемкостью 66 МДж, разработанный в НИИЭФА

кости (>1000 МДж) экономически выгоднее использовать моноблочную конструкцию без ограничения внешнего диаметра криостата. В этом случае предлагается изготовление большегабаритного СПИН непосредственно на месте его использования. Адаптация технологии электромагнитных систем ИТЭР к СПИН с диаметром обмоток 10–12 м позволяет рассчитывать на требуемое снижение стоимости СПИН в 1,5–2 раза без дополнительных инвестиций в НИР и апробацию технических решений СПИН с энергоемкостью 2–4 ГДж. Необходимое технологическое оборудование для изготовления обмоток диаметром 10–12 м разрабатывается в НИИЭФА с 2007 г. в порядке выполнения обязательств России по изготовлению и поставке одной из полоидальных катушек ИТЭР (рис. 4, 14).

2 Технологии с использованием ВТСП-ленты

В последние годы в НИИЭФА активно развиваются технологии создания крупных магнитных систем с токонесущим элементом на основе ВТСП-лент второго поколения (ВТСП-2). Одна из текущих разработок – ВТСП СПИН с энергоемкостью 1–10 МДж (рис. 15). Совместно с освоением технологий изготовления ВТСП-обмоток ведутся работы по созданию транспонированных токонесущих элементов на основе ВТСП-лент и токовых вводов различных назначений.

Критические токи сегодняшних ВТСП-2-лент при температуре жидкого азота невысоки, они не позволяют создавать магнитные системы с полем в несколько тесла на азотном

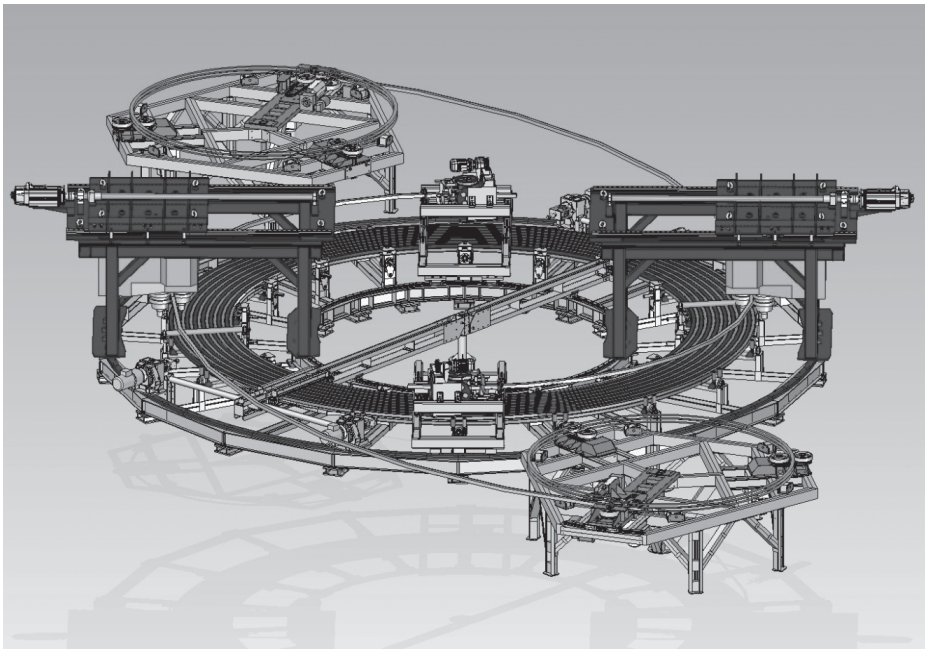


Рис. 14. Технологический участок по изготовлению катушки PF1 магнитной системы ИТЭР

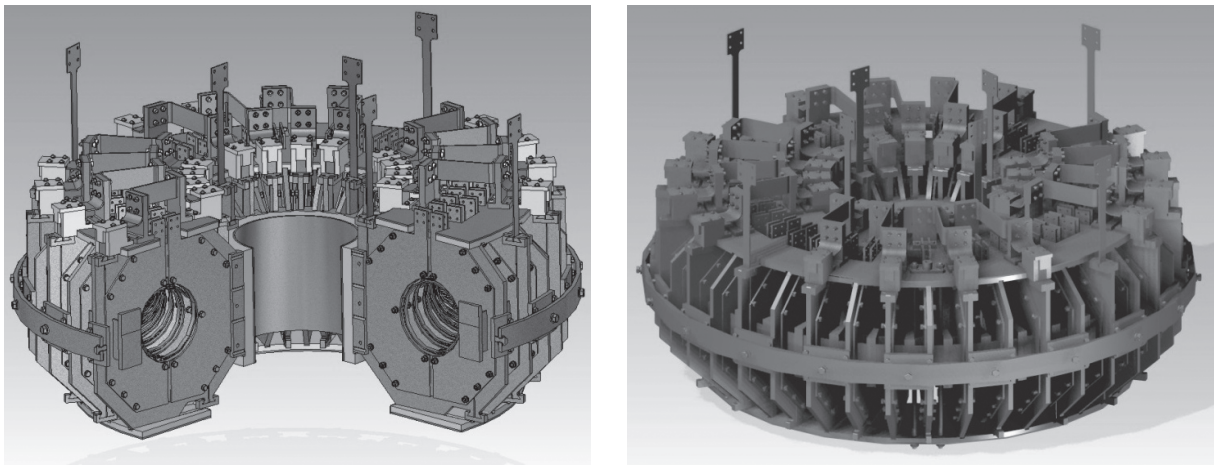


Рис. 15. Опытный образец ВТСП СПИН энергоемкостью 1 МДж

уровне. Однако понижение температуры уже до уровня 30–50 К существенно исправляет ситуацию, что при использовании современных криокулерных установок делает токонесущие элементы на основе ВТСП-2-ленты перспективным кандидатом для сверхпроводящих магнитов систем магнитной левитации.

Опытный образец ВТСП СПИН проектируется для работы при температуре 30 К, силе тока 600 А в поле до 6 Тл (до 1,3 Тл по нормальной компоненте поля). Намотка будет вестись ВТСП-2-лентой шириной 12 мм, тороидальная конфигурация СПИН образуется 40 одиночными галетами. На рис. 16 представлена ВТСП-катушка (двухслойная галета) – прототип секции разрабатываемого СПИН. Эта катушка намотана лентой AMSC шириной 4,8 мм, используется косвенное охлаждение с торцов, при этом корпус играет роль хладоввода, намотка производилась по методу «слой

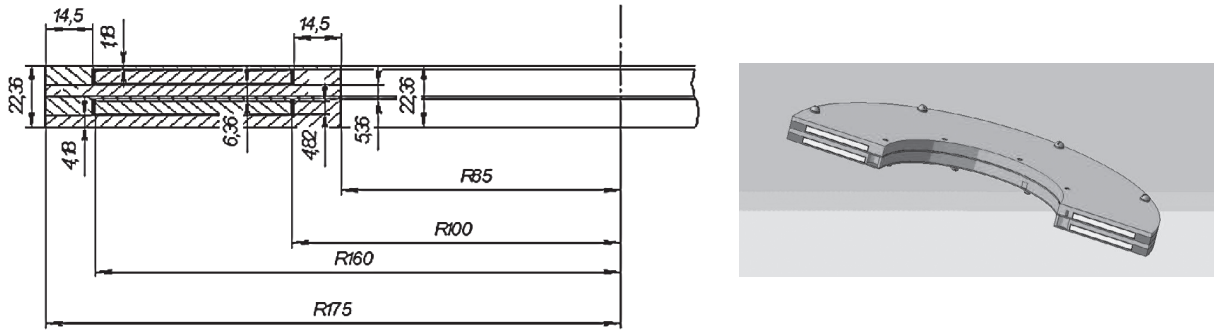
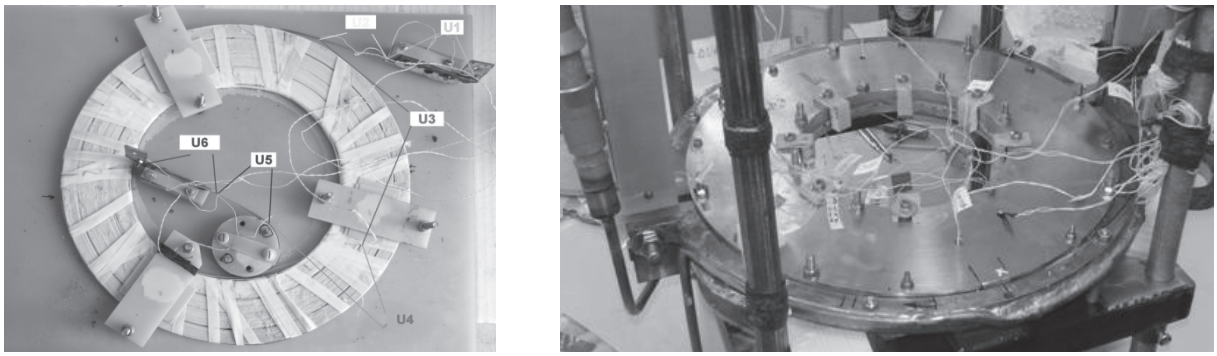


Рис. 16. Прототип секции СПИН – двойная галета на основе ВТСП-2-ленты

а б



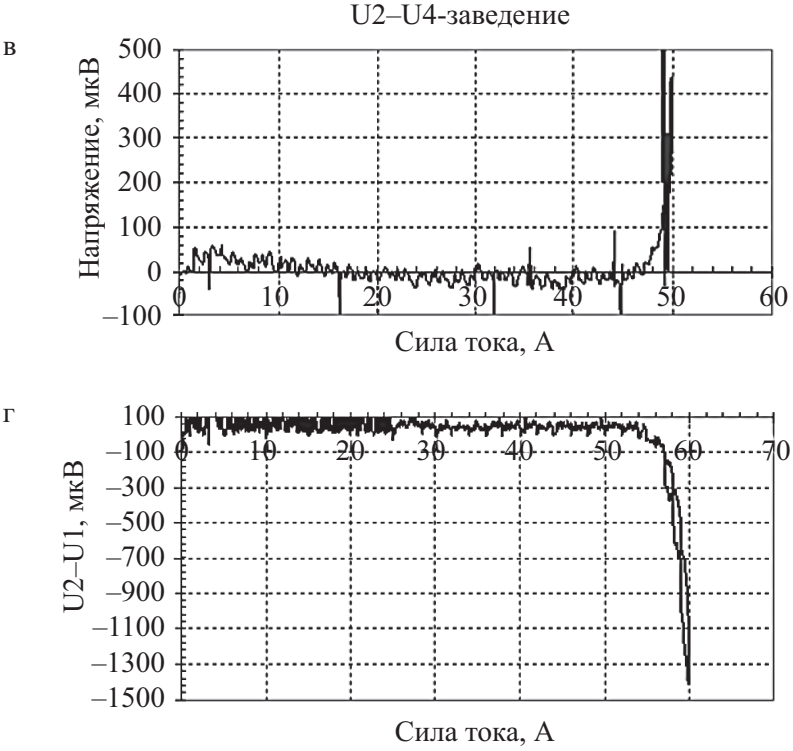


Рис. 17. Испытания прототипа секции ВТСП СПИН: а) подготовка образца к измерениям; б) проведение измерений; в) для двойной галеты при 77 К; г) для однослойной галеты при 77 К

ленты, слой изоляции». Отметим, что технология изготовления галет может быть использована для создания унифицированного модуля транспортной системы магнитной левитации. Результаты испытаний прототипа секции приведены на рис. 17. Сила токе перехода составляет 46–55 А (в собственном поле 0,4–0,26 Тл) при 77 К и 200 А (при параллельной ленте компоненте поля 1,5 Тл и нормальной компоненте 0,8 Тл) – при 30 К. Дополнительно была изготовлена малая катушка диаметром 80 мм, содержащая 104 витка AMSC-ленты. При гелиевой температуре и рабочем токе 530 А она создает магнитное поле ~ 2,5 Тл (рис. 18).

3 Работы с ВТСП объемными проводниками

Одним из перспективных для левитационных технологий направлений является использование ВТСП массивных элементов. Идеальный диамагнетизм сверхпроводника позволяет создавать устройства, в которых ВТСП-элемент отталкивается от магнитного поля, создаваемого внешним источником. В состоянии с замороженным потоком сам ВТСП-элемент становится постоянным магнитом. На протяжении десятка лет в НИИЭФА ведутся работы по исследованию свойств, характери-

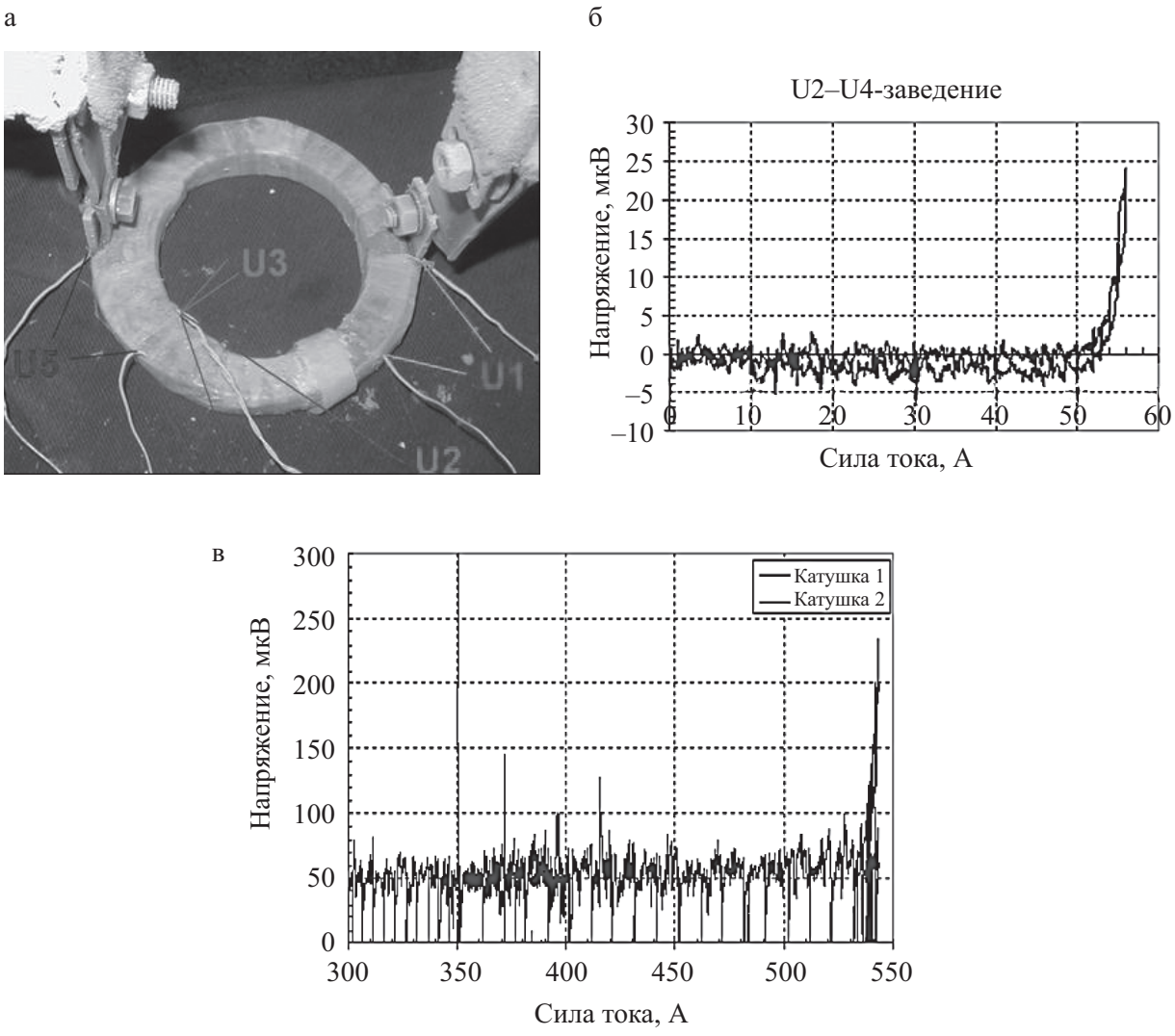


Рис. 18. Испытания малой ВТСП-катушки: а) подготовка образца к измерениям; б) Т = 77 К, I_{max} = 50 А, B_{max} = 0,25 Тл; в) Т = 4,2 К, I_{max} = 530 А, B_{max} = 2,5 Тл

стик и режимов работы ВТСП массивов [4, 5]. Созданное экспериментальное оборудование (рис. 19, 20) и разработанные методики эксперимента позволяют проводить такие испытания, как измерение вольт-амперной характеристики (ВАХ) ВТСП материала (рис. 21); квазистационарное намагничивание ВТСП элементов (как методом замораживания потока, так и импульсом магнитного поля) (рис. 22); размагничивание ВТСП-элементов переменным магнитным полем малой амплитуды (рис. 23).

В качестве ВТСП-элемента могут быть использованы одиночные «таблетки», стоп-

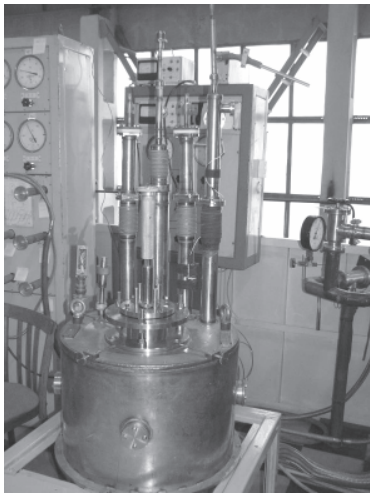


Рис. 19. Стенд для испытаний ВТСП-массивов. Сверхпроводящий соленоид на 5 Тл

Рис. 20. Контейнеры с вакуумной тепловой изоляцией для размещения ВТСП-образцов

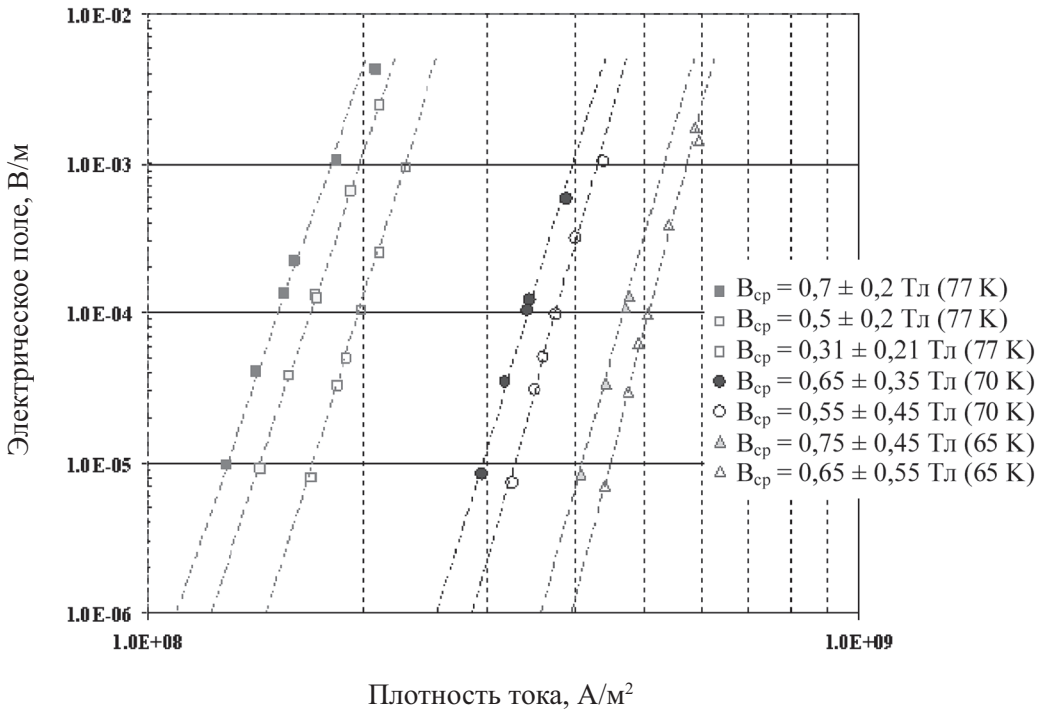


Рис. 21. Измерение ВАХ образца в широком диапазоне температур

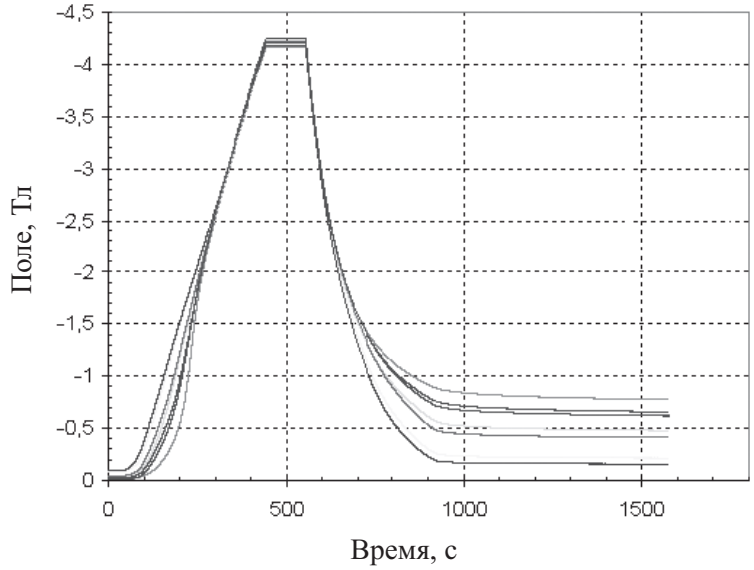


Рис. 22. Квазистационарное намагничивание образца методом «замороженного потока» (по данным с датчиков Холла измерительного модуля)

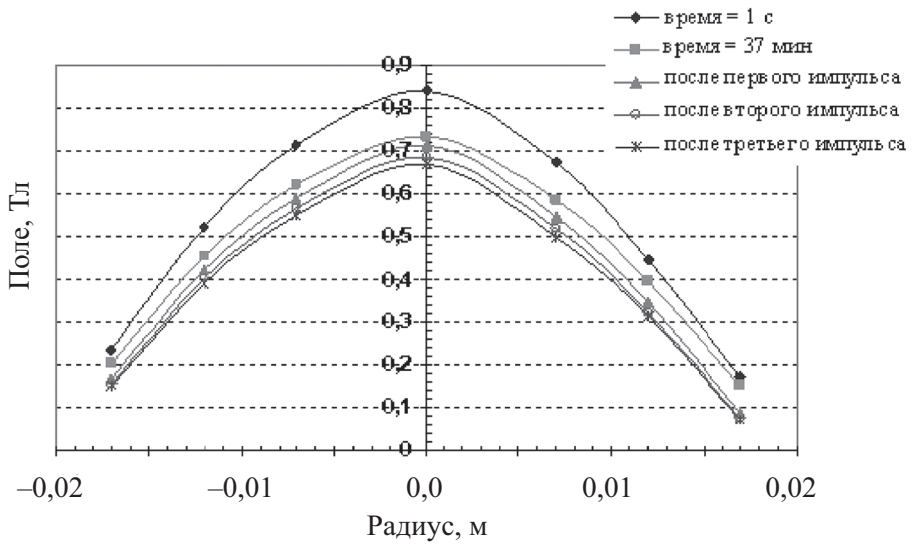


Рис. 23. Исследование размагничивания образца под воздействием переменного сигнала частотой 50 Гц малой амплитуды

ки «таблеток», полый цилиндр и т. д. (рис. 24, 25). Измерения могут проводиться в широком диапазоне температур (10–77 К) в магнитном поле до 5 Тл.

Заключение

Опыт НИИЭФА в разработке сверхпроводниковых систем и их компонентов (электроизоляционных развязок, токовых вводов, криостатов, защитных коммутаторов) может оказаться полезным при создании СП катушек транспортной системы магнитной левитации. Развитые технологии позволяют проектировать, изготавливать и испытывать устройства, работающие в области температур от 4,2 до 77 К в широком диапазоне рабочих токов и запасаемых энергий. Технологические осо-

Рис. 24. Внешний вид ВТСП-образцов

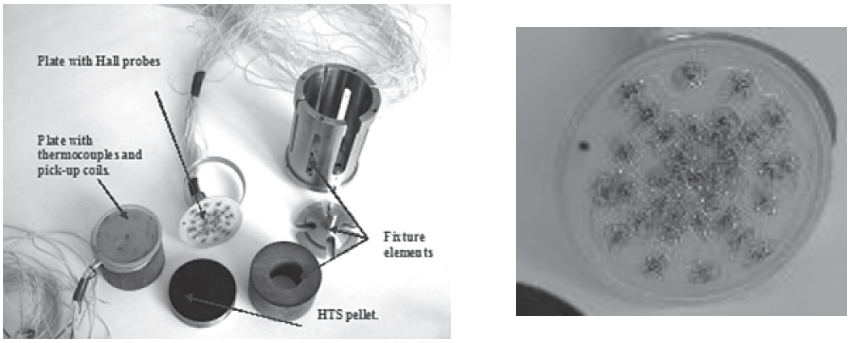


Рис. 25. Элементы механического держателя и измерительные модули для исследования ВТСП-«таблеток»

бенности применения НТСП материалов рассмотрены на примере изготовления зарядной катушки для эксперимента с левитирующим диполем LDX. Принципы модульного построения сверхпроводниковых систем обсуждаются на примере модельного ряда НТСП СПИН. Технология разрабатываемых секций ВТСП СПИН соответствует требованиям, предъявляемым к унифицированному модулю транспортной системы магнитной левитации. Созданное в НИИЭФА экспериментальное оборудование и разработанные методики испытаний объемных ВТСП элементов могут найти применение в левитационных технологиях с ВТСП массивами.

Библиографический список

1. **Boxer, A. C.,** Bergman, R., Ellsworth, J. L. at al. (2010). Turbulent inward pinch of plasma confined by a levitated dipole magnet // Nature Phys. Vol. 6, is. 3, 2007–2012.

2. **Zhukovsky, A.,** Schultz, J., Smith, B. at al. (2001). Magnet for the Floating Coil of LDX // IEEE Transactions on Applied Superconduvtivity. Vol. 11, 1873–1876.

3. **Анализ** многоцелевого использования сверхпроводящих индуктивных накопителей / М. С. Астров, О. Г. Филатов, В. А. Глухих и др. // Материалы I нац. конф. по прикладной сверхпроводимости НКПС-2011, 6–8 дек. 2011. – Москва : НИЦ «Курчатовский институт», 2011. – С. 384–398.

4. **Экспериментальные** исследования образцов массивных ВТСП материалов / В. И. Бондаренко, С. А. Егоров, Е. Р. Запретилина и др. // ВАНТ (Электрофизическая аппаратура). – Санкт-Петербург : Янус, 2006. – Вып. 4 (30). – С. 21–26.

5. **Araseki, H.,** Bondarenko, V. I., Egorov, S. A. et al. (2008). Test Facility and Experimental Studies of Monocrystal HTS Pellet // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. Vol. 18, N 2, June, 1585–1588.

УДК 656.22

Г. М. Грошев, А. Р. Норбоев
Петербургскирй государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ОБОСНОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЗЕРВА ПОЕЗДНЫХ ЛОКОМОТИВОВ НА СТАНЦИЯХ СМЕНЫ РОДОВ ТОКА

Проведены статистические исследования, построены статистические ряды распределения величины поступления и отправления поездов при переменном и постоянном токе на станции смены родов тока Свирь Октябрьской железной дороги. Выполнены расчеты по аппроксимации с использованием гамма-распределения колебаний числа прибывающих и отправляемых поездов за 90 суток по периодам различной продолжительности (сутки, 6 ч, 4 ч).

Выполнено имитационное моделирование в системе программного продукта Mathcad, версия 14.0.0.163, по определению количества прибывших и отправленных поездов по указанным периодам, необходимости подсылки или отправления резервных локомотивов в каждый временно́й период при обоих родах тока. Приведены расчеты результатов моделирования и сделаны выводы о возможности их применения для обоснования величины технологического резерва поездных локомотивов на станции.

неравномерность, непарность размеров движения поездов, станции смены видов тяги и родов тока, поездной локомотив, технологический резерв, обоснование величины, статистические исследования, закон распределения, имитационное моделирование.

Введение

Ранее проведенными исследованиями установлено, что на выполнение графика движения грузовых поездов на технических станциях смены видов тяги и родов тока оказывают влияние многие факторы. Результаты анализа представлены в виде схемы Исикавы [1] (см. рисунок).

Существенными факторами являются неравномерность размеров движения грузовых поездов и их непарность как по суткам (периодам сменно-суточного планирования эксплуатационной работы, включая прикрепление поездных локомотивов к ниткам графика), так и по 6- и 4-часовым внутрисуточным периодам (периодам текущего планирования) [2].

Эти факторы определяют то необходимость подсылки на станции смены и оборота поездных локомотивов резервом со станций депо приписки при их недостатке, то, напротив, отправления лишних поездных локомотивов резервом на эти станции при их избытке. Нередко наблюдается встречный резервный пробег поездных локомотивов на участках.

Неравномерность и непарность размеров движения грузовых поездов на участках по указанным внутрисуточным периодам наблюдаются и в нормативных графиках движения. Результаты такого анализа графика по станции Свирь представлены в табл. 1.

Поэтому в состав исследуемых мероприятий по повышению уровня выполнения графика движения грузовых поездов на технических станциях смены видов тяги или родов тока включен метод «Введение технологического резерва поездных локомотивов каждого вида тяги (рода тока)».

При постановке задачи определено, что для обоснования количества поездных локомотивов технологического резерва на станции можно применить имитационное моделирова-

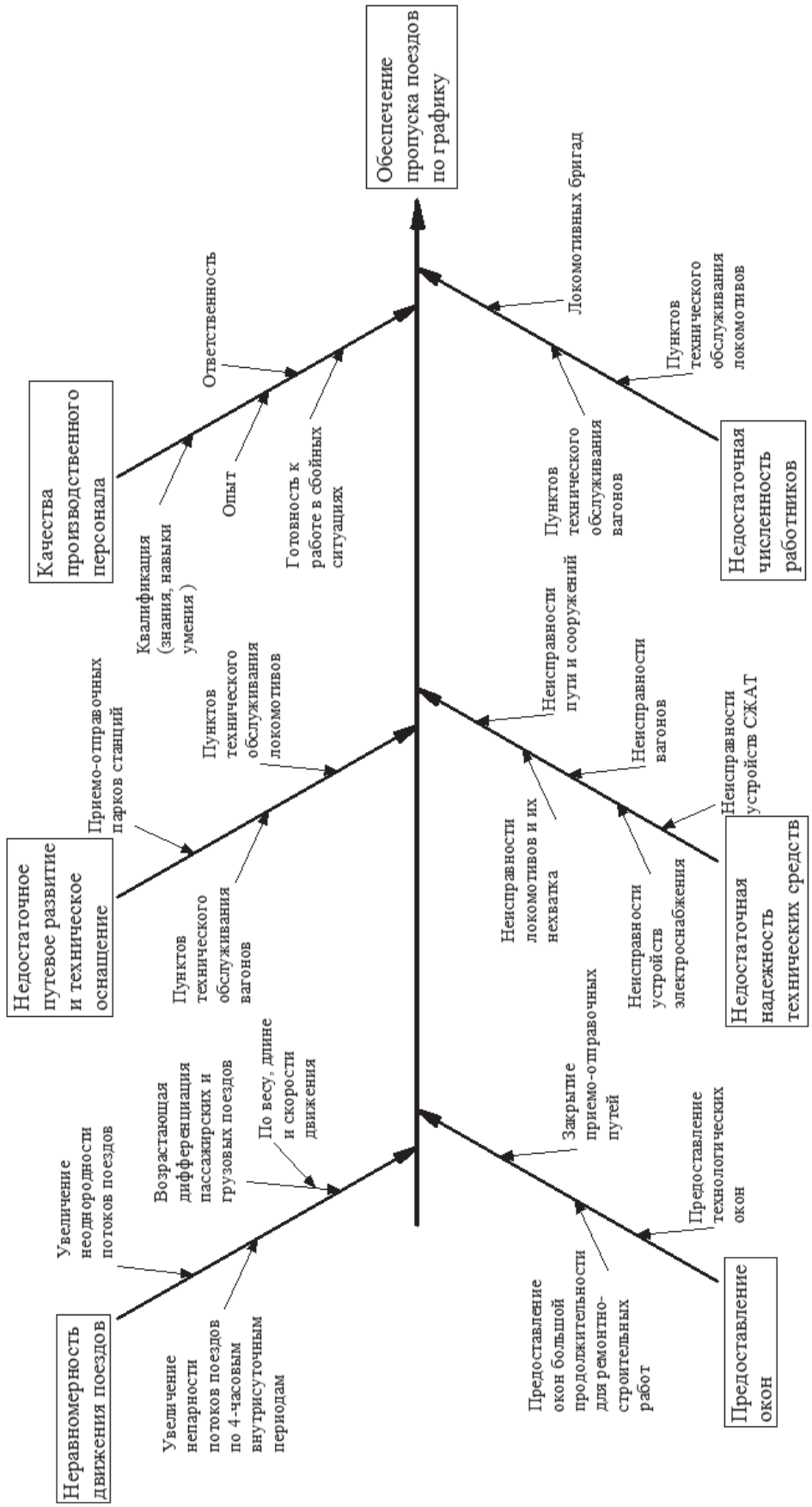


Схема причинно-следственных связей и факторов, влияющих на обеспечение пропуска поездов по графику на технических станциях

ТАБЛИЦА 1. Коэффициенты внутрисуточной неравномерности размеров движения

Станция	Коэффициенты внутрисуточной неравномерности			
	Поступление/отправление поездов при переменном токе		Поступление/отправление поездов при постоянном токе	
	6-часовые периоды	4-часовые периоды	6-часовые периоды	4-часовые периоды
Свирь	0,76/0,93	0,91/0,83	1,15/0,96	1,04/1,08
	1,08/1,00	0,91/1,50	1,08/0,72	0,81/0,84
	1,01/1,00	1,17/1,33	0,54/1,36	0,58/0,60
	1,01/1,25	1,04/1,50	1,00/0,80	1,04/1,08
		1,04/1,16		1,27/1,32
		1,04/1,83		0,81/0,84

ние процессов прибытия и отправления поездов на этой станции в системе программного продукта Mathcad.

Для моделирования необходимо установить закон распределения величины поступления и отправления поездов по каждому виду тяги (роду тока) [3].

Исследование и моделирование выполнены для станции смены родов тока Свирь Октябрьской железной дороги.

1 Установление законов распределения величины поступления и отправления поездов при обоих родах тока на станции

Проведены статистические исследования и построены статистические ряды распределений величины поступления и отправления поездов при переменном и постоянном токе на станции Свирь за 90 суток.

Данные об эмпирическом распределении величины поступления поездов при переменном токе приведены в качестве примера в табл. 2.

Выборочное среднее $M^*[N]$:

$$M^*[N] = \sum_{i=1}^{k} \overline{N_i} \cdot p_i^* ,$$

где $\overline{N_i}$ – значение случайной величины в i-м интервале; p_i^* – эмпирическая вероятность (частость) равенства случайной величины значению $\overline{N_i}$:

$$p_i^* = \frac{h_i}{\sum_{i=1}^{k} h_i},$$

где h_i – число наблюдений случайной величины $\overline{N_i}$ в разряде; $\sum_{i=1}^{k} h_i$ – общее число наблюдений; i – номер разряда ($i = 1, 2, ..., k$).

Для эмпирических рядов величины поступления поездов при переменном токе на станцию $M^*[N]$ равно 21,83 поездов (см. табл. 2).

Выборочная дисперсия $D^*[N]$:

$$D^*[N] = \sum_{i=1}^{k} \overline{N_i}^2 \cdot p_i^* - (M^*[N])^2 .$$

Для эмпирических рядов величины поступления поездов при переменном токе $D^*[N]$ равно 2,67 поездов.

Среднеквадратическое отклонение σ_N^*:

$$\sigma_N^* = \sqrt{D^*[N]}.$$

Для эмпирических рядов величины поступления поездов при переменном токе на станцию σ_N^* равно 1,63 поездов.

Оценка коэффициента вариации $\vartheta(N)$:

ТАБЛИЦА 2. Эмпирический ряд распределения величины поступления поездов при переменном токе

№ разряда	Границы разрядов $N_i - N_{i+1}$ (п)	Среднее значение $\overline{N_i}$ (п)	Число наблюдений h_i	Эмпирическая вероятность p_i^*	$\overline{N_i} \cdot p_i^*$	$\overline{N_i^2} \cdot p_i^*$
1	18–19	18,5	3	0,0333	0,6167	11,4083
2	19–20	19,5	9	0,1000	1,9500	38,0250
3	20–21	20,5	14	0,1556	3,1889	65,3722
4	21–22	21,5	25	0,2778	5,9722	128,4028
5	22–23	22,5	18	0,2000	4,5000	101,2500
6	23–24	23,5	12	0,1333	3,1333	73,6333
7	24–25	24,5	7	0,0778	1,9056	46,6861
8	25–26	25,5	2	0,0222	0,5667	14,4500
Итого	–	–	90	1,0000	21,8333	479,2278

$$\vartheta(N) = \frac{\sigma_N^*}{M[N]}.$$

Для эмпирических рядов величины поступления поездов при переменном токе на станцию $\vartheta(N)$ равно 0,07 поездов.

Аналогичные расчеты выполнены в отношении отправления поездов при переменном токе, а также в отношении прибытия и отправления поездов при постоянном токе.

Пример результатов проверки вероятностных распределений величины поступления поездов при переменном токе даны в табл. 3.

Исходя из результатов установления законов распределения, при имитационном моделировании используем гамма-распределение.

2 Подготовка исходных данных для имитационного моделирования

Моделирование на ЭВМ производится с целью автоматизации получения показателей системы обеспечения составов поездными локомотивами и обоснования величины технологического резерва поездных локомотивов на технических станциях смены родов тока и видов тяги. Моделирование выполнено на персональном компьютере в системе программного продукта Mathcad, версия 14.0.0.163.

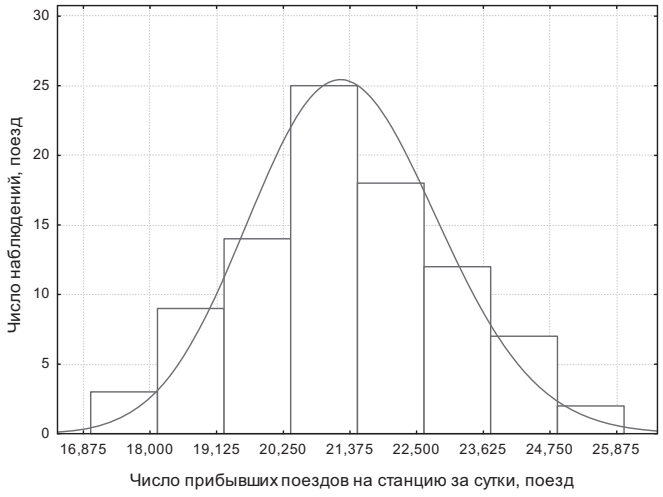
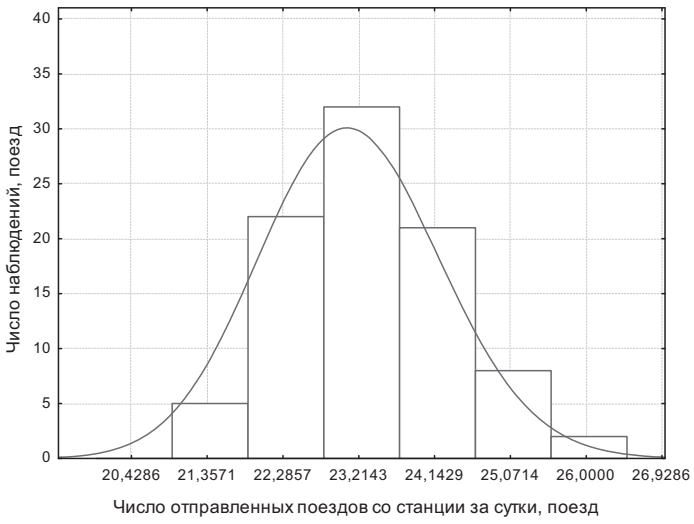
При разработке модели поставлены и решены следующие задачи:

1) на первом этапе моделирования определяются временны́е интервалы поступления и отправления поездов при обоих родах тока на станции. Для нахождения интервалов генерируются случайные числа, распределенные по закономерности гамма-распределения при помощи процедуры в системе программного продукта Mathcad (выдаёт вектор *m* случайных чисел, имеющих гамма-распределение с параметром формы *s*):

$$RG := \text{rgamma}(m, s),$$

где *m* – требуемое количество случайных чисел (для каждой процедуры рассчитывается отдельно) (для прибывших поездов при переменном и постоянном токе *m* равно 1920 и 1865, для отправленных поездов – 2081 и 1701, соответственно); *s* – параметр распределения (для прибывших поездов при переменном и постоянном токе *s* равно 1,042 и 1,004, для отправленных поездов – 1,185 и 0,94, соответственно);

ТАБЛИЦА 3. Результаты проверки вероятностных распределений величины поступления и отправления поездов при обоих родах тока

Название закона	Закон распределения	Параметры закона
1	2	3
Величина поступления поездов при переменном токе		
Gamma		Variable: Var1, Distribution: Gamma Kolmogorov – Smirnov d = 0,04141, Chi-Square test = 4,17791, df = 3 (adjusted), p = 0,24288
Величина отправления поездов при переменном токе		
Gamma		Variable: Var3, Distribution: Gamma Kolmogorov – Smirnov d = 0,08635, Chi-Square test = 4,88969, df = 2 (adjusted), p = 0,08674

2) строятся четыре временные шкалы:

• интервалы времени последовательного поступления $t_{\text{пр}}^{\text{пер.т}}$ и отправления $t_{\text{от}}^{\text{пер.т}}$ поездов при переменном токе;

• интервалы времени последовательного поступления $t_{\text{пр}}^{\text{пос.т}}$ и отправления $t_{\text{от}}^{\text{пос.т}}$ поездов при постоянном токе;

3) находится текущее время последовательного поступления и отправления поездов со станции при обоих родах тока и по полученным результатам раскладывается по суткам и по 6-часовым периодам внутри каждых суток. Если при суммировании интервалов сумма выходит за границу 6 ч, то остаток превышенно-

го интервала учитывается в следующем 6-часовом периоде.

Пример расчета приведен во фрагменте табл. 4.

Выполнены аналогичные расчеты в отношении отправления поездов при переменном токе, а также в отношении прибытия и отправления поездов при постоянном токе;

4) определяются:

• количество прибывших поездов на переменном $N_{\text{пр}}^{\text{пер.т}}$ и постоянном $N_{\text{пр}}^{\text{пос.т}}$ токе за сутки, $N_{\text{пр}}^{\text{пер.т}}$;

• количество отправленных поездов на переменном $N_{\text{от}}^{\text{пер.т}}$ и постоянном $N_{\text{от}}^{\text{пос.т}}$ токе за сутки, $N_{\text{от}}^{\text{пер.т}}$;

5) задается условие для определения количества поездов $N^{\text{пер.т}}$ при переменном токе, могут обеспечиваться в данные сутки резервными поездными локомотивами:

$$N^{\text{пер.т}} = \begin{cases} N_{\text{пр}}^{\text{пер.т}}, \text{ при } (N_{\text{от}}^{\text{пер.т}} - N_{\text{пр}}^{\text{пер.т}}) > 0; \\ N_{\text{от}}^{\text{пер.т}}, \text{ при } (N_{\text{от}}^{\text{пер.т}} - N_{\text{пр}}^{\text{пер.т}}) < 0; \end{cases}$$

6) задается условие для определения количества поездов $N^{\text{пост.т}}$ при постоянном токе, могут обеспечиваться в данные сутки резервными локомотивами:

$$N^{\text{пос.т}} = \begin{cases} N_{\text{пр}}^{\text{пос.т}}, \text{ при } (N_{\text{от}}^{\text{пос.т}} - N_{\text{пр}}^{\text{пос.т}}) > 0; \\ N_{\text{от}}^{\text{пос.т}}, \text{ при } (N_{\text{от}}^{\text{пос.т}} - N_{\text{пр}}^{\text{пос.т}}) < 0; \end{cases}$$

7) определяется необходимость подсылки или отправления резервом поездных локомотивов при каждом роде тока. При необходимости подсылки резервных локомотивов выполняется условие $(N_{\text{от}} - N_{\text{пр}}) > 0$; при необходимости отправления локомотивов резервом выполняется условие $(N_{\text{от}} - N_{\text{пр}}) < 0$ при каждом роде тока;

8) устанавливается количество резервных локомотивов, которые необходимо подсылать или отправлять по своему роду тока в зависимости от значения модуля разности между количеством прибывших и отправленных поездов при каждом роде тока:

$$\Delta M^{\text{пер.т}} = \left| N_{\text{от}}^{\text{пер.т}} - N_{\text{пр}}^{\text{пер.т}} \right|;$$

$$\Delta M^{\text{пос.т}} = \left| N_{\text{от}}^{\text{пос.т}} - N_{\text{пр}}^{\text{пос.т}} \right|;$$

9) оптимальный вариант выбирается по минимальной величине разности прибывших и отправленных поездов при каждом роде тока отдельно. Расчеты этой разности при переменном токе представлены в табл. 5.

ТАБЛИЦА 4. Определение интервалов времени последовательного поступления поездов при переменном токе на станцию

Количество поступивших поездов за периоды, поезд	Интервал времени последовательного поступления поездов, ч	Кумулятивное значение интервала времени последовательного поступления поездов от начала суток, ч
1	0,184768	0,184768
2	1,539236	1,724004
3	0,097114	1,821118
4	2,320501	4,141619
5	0,911194	5,052813
…	…	…
19	1,428992	5,91295

ТАБЛИЦА 5. Величина разности прибывших и отправленных поездов при переменном токе за сутки

Количество суток	Количество прибывших поездов за сутки	Количество отправленных поездов за сутки	Количество локомотивов, отправляемых резервом	Количество локомотивов, подсылаемых резервом
1	19	25	0	6
2	23	24	0	1
3	23	25	0	2
4	18	27	0	9
5	23	26	0	3
6	23	24	0	1
7	20	26	0	6
8	19	26	0	7
9	24	26	0	2
10	23	23	0	0

Аналогичные расчеты выполнены в отношении отправления поездов при переменном токе, прибытия и отправления поездов при постоянном токе.

Анализ данных табл. 5 позволяет заключить, что на девять суток из десяти может быть установлен технологический резерв, равный 1 локомотиву; на первые, шестые и седьмые сутки – 6. В другие сутки потребность в резервных локомотивах различна и колеблется от 0 до 9.

При постоянном токе только на 2-е и 6–8-е сутки технологический резерв может быть установлен равным одному локомотиву; а в 1-е, 3-и, 4-е, 5-е и 9-е сутки, напротив, локомотивы отправляются со станции резервом.

Данные по 6-и 4-часовым периодам также не позволяют сделать однозначные выводы для определения величины технологического резерва поездных локомотивов.

Заключение

Анализ результатов моделирования – сопоставление численных значений количества поездных локомотивов данного рода тока, отправляемых со станции резервом и подсылаемых резервом на станцию по каждым суткам отдельно (из 90 суток), – показал, что эти результаты не дают стабильной картины и некорректны для принятия обоснованного решения о величине технологического резерва поездных локомотивов как одного, так и другого рода тока для обследованной станции. Аналогичные выводы приходится сделать и в отношении результатов моделирования по внутрисуточным 6-и 4-часовым периодам.

Результаты моделирования показывают большую нестабильность, неравномерность движения грузовых поездов на станции и непарность их размеров как в суточном режиме, так и по внутрисуточным периодам различной продолжительности. Поэтому фактические простои локомотивов по обороту на таких станциях значительно превышают минимальные технологические нормы.

Определение величины технологического резерва поездных локомотивов на станциях смены видов тяги и родов тока представляется задачей для сменно-суточного планирования и прогнозирования размеров движения поездов и их обеспечения локомотивами на участках обращения локомотивов на 3–4 суток вперед.

В связи с этим разрабатывается постановка задачи и методика обоснования величины технологического резерва локомотивов на станциях смены видов тяги и родов тока на основе выполнения технико-экономических расчетов и сопоставлений вариантов обеспечения поездов локомотивами на таких станциях как метода оперативного диспетчерского регулирования.

Библиографический список

1. **Повышение** надежности информационных технологий пропуска поездов на станциях смены видов тяги и родов тока транспортных коридоров / Г. М. Грошев, А. Г. Котенко, А. Р. Норбоев // Интеллектуальные системы на транспорте : материалы III междунар. науч.-практич. конф. «Интеллект Транс–2013». – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2013. – С. 218–223.

2. **Инструкция** по оперативному планированию поездной и грузовой работы в ОАО «РЖД» / Утв. распоряжением от 16 июля 2012 г. № 1415 р.

3. **Моделирование :** задачи, задания, тесты / Т. И. Алиев, Л. А. Муравьева-Витковская, В. В. Соснин. – Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2011. – 197 с.

УДК 621.333.41

А. М. Евстафьев, А. П. Зеленченко, В. М. Мищенко
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ПРИГОРОДНЫХ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В статье обоснована целесообразность расширения скоростного диапазона рекуперативного торможения пригородных электропоездов постоянного тока, оборудованных двигателями последовательного возбуждения. Доказано, что сочетание традиционного рекуперативного торможения в зоне высоких скоростей и импульсного рекуперативного торможения в зоне низких скоростей позволяет получить наилучшие тягово-энергетические показатели системы торможения. Предложен алгоритм управления процессом торможения в случае реализации сочетания традиционной и импульсной рекуперации. Приведено схемотехническое решение, позволяющее реализовать предложенный вариант рекуперативного торможения.

энергоэффективность, рекуперативное торможение, импульсный преобразователь.

Введение

Энергосберегающие технологии на тяговом подвижном составе являются одним из наиболее приоритетных направлений для развития железнодорожного транспорта, а также снижения темпов роста стоимости тарифов на пригородные перевозки.

1 Состояние вопроса и постановка задач

В результате многолетних исследований в нашей стране была разработана оригинальная система рекуперативного торможения для пригородных электропоездов постоянного тока.

Система включает в себя четыре тяговых двигателя, соединённых последовательно, возбудитель, контакторное оборудование и реостаты.

Впервые эта система была реализована на электропоездах ЭР6 и ЭР10, а в 1969 г. началось производство электропоездов ЭР22, ЭР22 М и ЭР22 В. В дальнейшем эта схема была использована на электропоездах ЭР2 Р, ЭР2 Т, ЭТ2 М и ЭД4 М [1]. Силовая схема этих электропоездов обеспечивает рекуперативное торможение при независимом возбуждении тяговых двигателей в диапазоне от 130 км/ч до 50–45 км/ч, реостатное торможение с самовозбуждением тяговых двигателей от скорости 50–45 км/ч до 10–7 км/ч. Предусмотрено электропневматическое дотормаживание от скорости 10–7 км/ч до полной остановки электропоезда.

Минимальная скорость традиционной рекуперации определяется свойствами тяговых электродвигателей, мощностью возбудителя и может быть рассчитана по выражению

$$V_{\text{т.min.тр.}} = \frac{U + I_{\text{Т}} \cdot R_{\text{ТР}}}{C_E \cdot \Phi_{\max}}, \qquad (1)$$

где U – напряжение контактной сети; $I_{\text{Т}}$ – тормозной ток, $R_{\text{ТР}}$ – сопротивление цепи тормозного тока при традиционной рекуперации, C_{E} – постоянная тягового электродвигателя, $\Phi_{\max}$ – максимальное значение магнитного потока полюсов электродвигателя. Например, для электропоездов ЭР2 Р $V_{\text{т.min.тр.}}$ = 50 км/ч. Однако выполненные в последнее время исследования на Санкт-Петербургском железнодорожном узле показали: основной диапазон скоростей начала торможения электропоездов приходится на скорости 50–80 км/ч; для плавной остановки электропоезда машинисты начинают тормозить в начале платформы со скорости не выше 80–90 км/ч; количество торможений n в диапазоне скоростей ниже 50 км/ч может составлять свыше 40 % от общего числа торможений (см. таблицу, рис. 1).

Расчеты показывают, что расширение диапазона рекуперативного торможения электропоезда ЭР2 Р до 10 км/ч при годовом пробеге 150 000 км и вероятности осуществления рекуперативного торможения 20 % позволяет сократить расход энергии на движение на 4 %. Для решения проблемы расширения диапазона рекуперативного торможения пригородных электропоездов серий ЭР2 Р, ЭР2 Т, ЭТ2 М и ЭД4 М до 10 км/ч необходимо: обосновать принципы построения системы рекуперативного торможения; предложить алгоритм управления процессом рекуперативного торможения; разработать схемотехническое решение, позволяющее реализовать принципиальные идеи организации работы системы рекуперативного торможения.

2 Обоснование принципов построения системы рекуперативного торможения

Анализ отечественного и зарубежного опыта разработки систем регулирования пригородных электропоездов постоянного тока показывает, что радикальным путем улучшения их тягово-энергетических показателей является применение систем импульсного регулирования для режимов тяги и торможения, кото-

Распределение скоростей начала торможения на участке Санкт-Петербург – Приозерск

$V_{\text{т}}$, км/ч	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90	90–100	100–110
n, тор./сутки	4	5	7	12	14	18	20	12	5	3	1
n, %	3,9	4,9	6,9	11,8	13,8	17,8	19,8	11,8	4,9	2,9	0,9

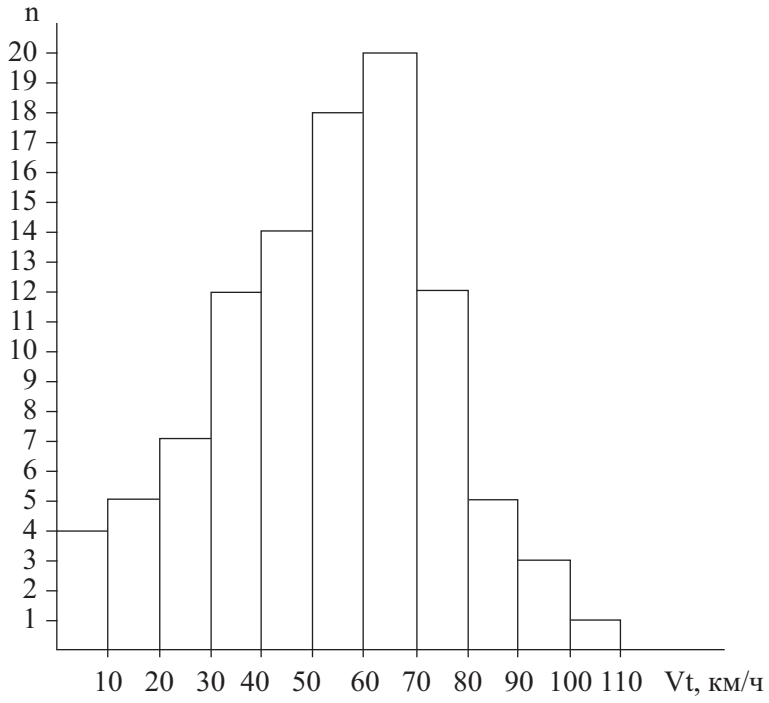


Рис. 1. График распределения скоростей начала торможения на участке Санкт-Петербург – Приозерск

рые позволяют комплексно повысить тяговые и энергетические показатели [2].

При этом необходимо также выбирать оптимальное решение, обеспечивающее повышенный тягово-энергетический эффект.

В связи с этим следует отметить, что устойчивое импульсное регулирование при рекуперации возможно лишь в случае, если сумма электродвижущих сил тяговых электродвигателей ΣE за вычетом падений напряжения в их цепи ниже напряжения контактной сети U. Выполнение этого условия требует более глубокого ослабления возбуждения по сравнению с традиционной рекуперацией при той же скорости.

Для сравнения свойств систем рекуперативного торможения использованы два показателя: разность тормозных сил и отношение токов рекуперации.

Разность тормозных сил при традиционной (Тр) и импульсной (И) рекуперации определяется на основании классических уравнений:

$$C_E \cdot \Phi_{\text{Тр}} \cdot V_{\text{Т}} = U + I_{\text{Т}} \cdot R_{\text{Тр}}; \qquad (2)$$

$$C_E \cdot \Phi_{\text{И}} \cdot V_{\text{Т}} = U(1-\lambda) + I_{\text{Т}} \cdot R_{\text{И}}, \qquad (3)$$

где $V_{\text{Т}}$ – скорость торможения; C_E – машинная постоянная; $\Phi_{\text{Тр}}$, $\Phi_{\text{И}}$ – магнитный поток при традиционный и импульсной рекуперации, соответственно; $I_{\text{Т}}$ – тормозной ток; $R_{\text{И}}$ – сопротивление цепи тормозного тока при импульсной рекуперации; $\lambda = \dfrac{T_E}{T}$ – коэффициент заполнения импульсного преобразователя; T_E – время открытого состояния; T – период управления.

Вычитая уравнение (3) из (2), получим

$$\begin{aligned} C_E \cdot V_{\text{Т}}(\Phi_{\text{Тр}} - \Phi_{\text{И}}) = \\ = U \cdot \lambda - I_{\text{Т}}(R_{\text{Тр}} - R_{\text{И}}). \end{aligned} \qquad (4)$$

Из уравнения (4) имеем:

$$(\Phi_{\text{Тр}} - \Phi_{\text{И}}) = \frac{U \cdot \lambda - I_{\text{Т}} \cdot (R_{\text{Тр}} - R_{\text{И}})}{C_E \cdot V_{\text{Т}}}. \qquad (5)$$

Умножив левую и правую части уравнения (5) на $\frac{C_E \cdot I_\text{Т}}{\eta}$, получим уравнение, левая часть которого представляет собой разность тормозных сил при традиционной и импульсной рекуперации:

$$\Delta B = \frac{(U \cdot \lambda - I_\text{Т}(R_\text{Тр} - R_\text{И})) \cdot I_\text{Т}}{V_\text{Т} \cdot \eta}, \qquad (6)$$

где η – коэффициент полезного действия.

При $R_\text{Тр} = R_\text{И}$ выражение (6) приобретает вид

$$\Delta B = \frac{U \cdot I_\text{Т} \cdot \lambda}{V_\text{Т} \cdot \eta}. \qquad (7)$$

Из формулы (7) следует, что при равных токах электродвигателей тормозная сила при традиционной рекуперации больше, чем при импульсной.

Энергетические показатели систем торможения можно характеризовать с помощью отношения токов рекуперации $I_\text{р}$. При традиционной рекуперации имеет место равенство

$$I_\text{р.к.} = I_\text{Т}, \qquad (8)$$

а при импульсной

$$I_\text{р.и.} = I_\text{Т}(1-\lambda). \qquad (9)$$

Тогда отношение этих токов

$$\frac{I_\text{р.к.}}{I_\text{р.и.}} = \frac{1}{(1-\lambda)}. \qquad (10)$$

Соотношение (10) показывает, что за одинаковый промежуток времени система традиционной рекуперации отдаст в контактную сеть в (1 – λ) раза больше энергии, чем импульсная система, поэтому при проектировании системы торможения целесообразно применить сочетание традиционной рекуперации при высоких скоростях торможения до 50 км/ч и импульсной – при более низких скоростях.

3 Разработка алгоритма управления процессов рекуперативного торможения

Режим рекуперативного торможения электропоезда разделен на две зоны: традиционное рекуперативное торможение при скорости 130–50 км/ч; импульсное рекуперативное торможение при скорости 50–10 км/ч.

Для реализации рекуперативного торможения разработан алгоритм управления (рис. 2). При скоростях торможения 130–50 км/ч для поддержания постоянной величины тормозного тока $I_\text{Т}$ = const по мере снижения скорости увеличивается ток возбуждения $I_\text{В}$ = var. При достижении током возбуждения значения $I_\text{В1}$, что соответствует скорости торможения $V_\text{Т1}$, например, для электропоезда ЭР2 Р $I_\text{В1}$ = 250 А, $V_\text{Т1}$ = 50 км/ч, система управления формирует сигнал на разрешение работы импульсного преобразователя.

При скоростях торможения 50–10 км/ч поддержание величины тормозного тока $I_\text{Т}$ = const по мере снижения скорости осуществляется за счет увеличения коэффициента заполнения λ импульсного преобразователя. При этом ток возбуждения равен $I_\text{В} = I_\text{В1}$ = const. На электропоезде предусмотрено электропневматическое торможение при скоростях ниже 10 км/ч.

4 Разработка схемотехнического решения системы рекуперативного торможения

Для решения поставленной задачи в подвагонном пространстве моторного вагона на место снимаемого контакторного оборудования (силового контроллера и др.) устанавливается двухфазная система импульсного регулирования напряжения, которая включает в себя импульсные преобразователи VS1, VS2, выполненные на IGPT-транзисторах, тиристоры VS3, VS4, диоды VD1, VD2, сглаживающие реакторы СР1, СР2 и входной двухзвенный индуктивно-ёмкостной фильтр ($Д_{рф1}$, $Д_{рф2}$, $С_{ф1}$, $С_{ф2}$) (рис. 3).

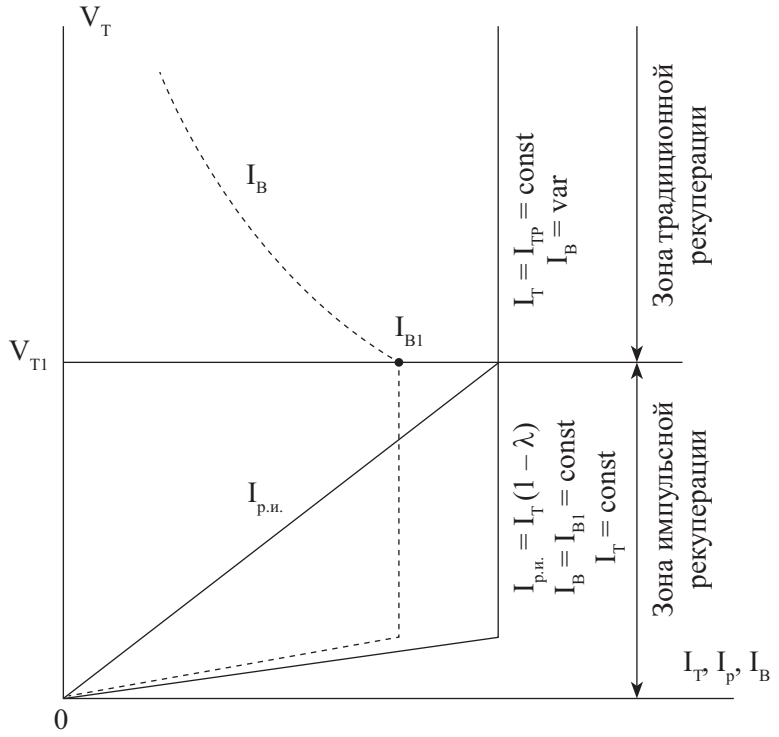


Рис. 2. Диаграмма, иллюстрирующая алгоритм управления системой рекуперативного торможения

Каждая фаза системы работает при постоянной частоте регулирования 400 Гц. При этом управление фаз сдвинуто на половину периода управления, что обеспечивает отдачу энергии при импульсной рекуперации на входной фильтр с частотой 800 Гц.

Расчет параметров фильтра выполнен исходя из допустимой пульсации тока контактной сети 200 мА. При этом получены следующие значения: $С_{ф1} = С_{ф2} = 320 \cdot 10^6$ Ф, $Д_{рф1} = Д_{рф2} = 6 \cdot 10^{-3}$ Гн.

Рекуперативное торможение осуществляется на всем диапазоне скоростей при независимом возбуждении тяговых двигателей от штатного возбудителя УВВ.

При реализации традиционного рекуперативного торможения собирается контур тока рекуперации: (–), контактор защиты ВЗТ, датчик тока якоря ДТЯ, якоря тяговых двигателей М4–М1, сглаживающий реактор СР, диоды VD1, VD2, входной фильтр, контактор ЛК, быстродействующий выключатель БВ, (+) контактная сеть.

Одновременно собирается контур тока возбуждения $I_В$: (+) возбудителя УВВ, контактор КОВ, обмотки возбуждения ОВ1–ОВ4, датчик тока возбуждения ДТВ, (–) возбудителя УВВ.

Осуществление импульсной рекуперации рассмотрим на примере одной фазы. При включенном импульсном преобразователе VS1 образуется контур нарастания тормозного тока: (+) якорей двигателей М1–М4, сглаживающий реактор СР1, импульсный преобразователь VS1, датчик тока якоря ДТЯ, (–) якорей двигателей М1–М4.

На интервале времени выключенного состояния преобразователя VS1 образуется контур спадания тормозного тока $I_Т$: (–), контактор защиты ВЗТ, датчик тока якоря ДТЯ, якоря двигателей М4–М1, реактор сглаживающий СР1, диод VD1, входной фильтр, контактор ЛК, быстродействующий выключатель БВ, (+) контактная сеть.

Таким образом, отдача энергии при импульсной рекуперации реализуется только на интервале спадания тормозного тока.

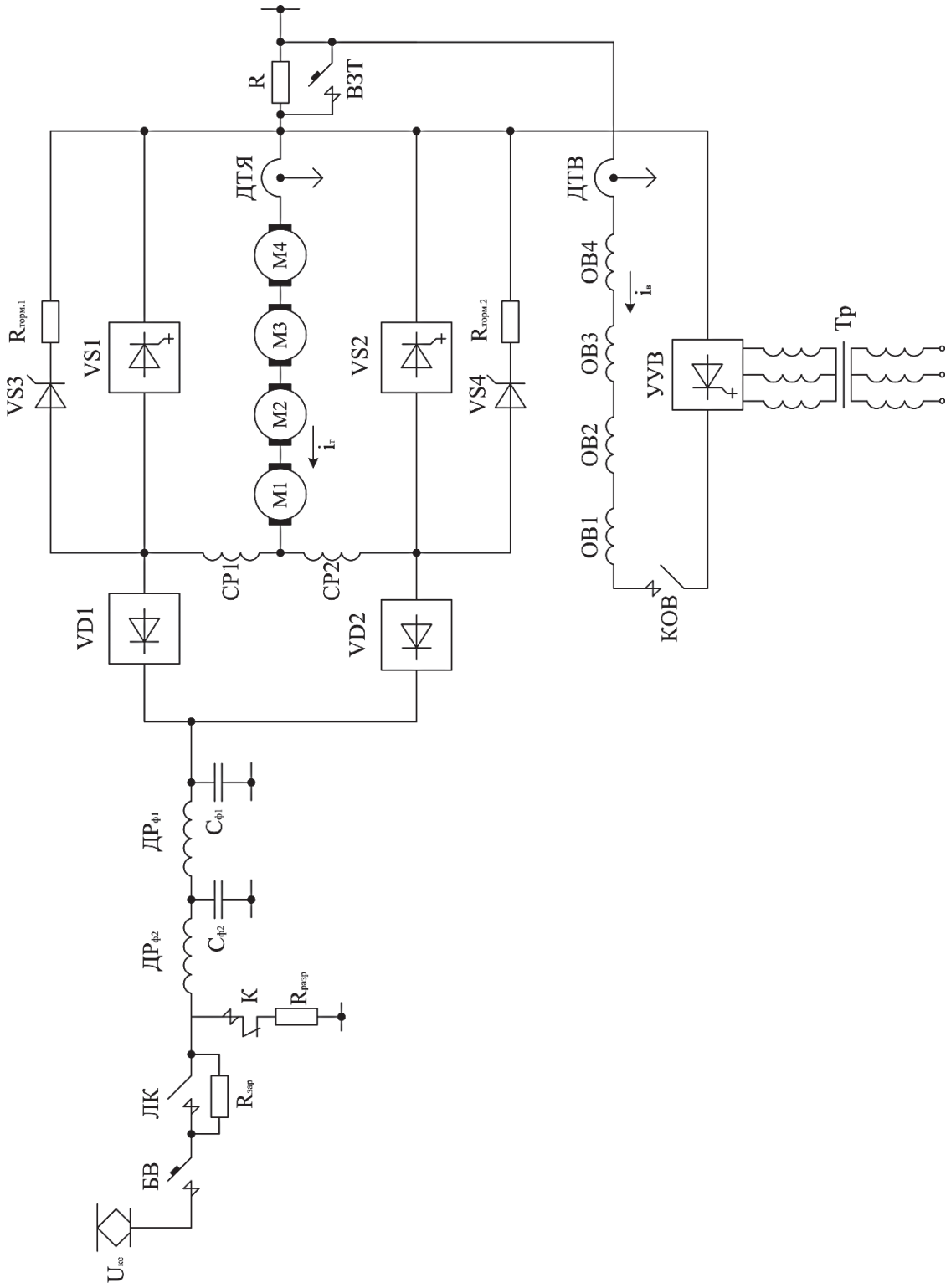


Рис. 3. Схема силовой цепи моторного вагона в режиме рекуперативного торможения

При отсутствии потребителя электроэнергии в контактной сети включается тиристор VS3 и реализуется процесс замещающего реостатного торможения на резистор $R_{\text{торм.1}}$.

Также следует отметить, что импульсные преобразователи VS1 и VS2 используются и в режиме тяги, что дополнительно позволяет повысить электроэффективность электропоезда за счет отсутствия потерь энергии в пусковых реостатах.

Заключение

1. При модернизации пригородных электропоездов постоянного тока целесообразно применять системы импульсного регулирования, позволяющие реализовать безреостатный пуск и рекуперативное торможение до 10 км/ч.

2. Применение сочетания традиционного рекуперативного торможения при высоких скоростях и импульсного при низких позволяет получить наилучшие тягово-энергетические показатели системы торможения электропоезда.

Библиографический список

1. **Электропоезда** постоянного тока ЭД2 Т, ЭТ2 М, ЭД4 М, ЭР2 Т, ЭТ2 / под ред. Д. В. Пегова. – Москва : Центр Коммерческих Разработок, 2008. – 192 с. : табл., ил.

2. **Энергосберегающее** оборудование электропоездов / А. С. Мазнев, А. М. Евстафьев и др. // Локомотив. – 2007. – № 1. – С. 3.

УДК 656.257+681.5.075

Д. В. Ефанов, А. А. Блюдов
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТРЕЛОК

Рассматриваются возможности повышения надежности датчиков контроля положения железнодорожных стрелок (ДСТ) в системе микропроцессорной централизации стрелок и сигналов МПЦ-МПК. Описывается структура ДСТ, принципы его работы, а также меры обеспечения безопасности его функционирования. Указано место помехоустойчивого кодирования в процессе получения ответственной контрольной информации, а также недостатки применяемого вида кодирования. Предлагается использование модульно-модифицированного кода Бергера для исключения сбоев в управлении удаленными стрелками. Доказана целесообразность выбора данного варианта кодирования для работы в системе управления движением поездов.

управление движением на станциях; МПЦ-МПК; железнодорожная стрелка; датчик стрелки; код с суммированием.

Введение

Железнодорожная автоматика и телемеханика (ЖАТ) представляет собой важную отрасль техники, особенно в эпоху повышения скоростей перемещения грузов и пассажиров [1]. Именно устройства и системы ЖАТ являются последними звеньями в обеспечении

безопасности перевозочного процесса [2, 3]. В Транспортной стратегии развития Российской Федерации до 2030 г., например, отмечаются вопросы развития высокоскоростного движения во многих направлениях [4]. Как следствие, будут совершенствоваться и системы ЖАТ.

Для управления передвижениями на станциях железных дорог России активно развиваются и внедряются системы электрической централизации на микропроцессорной основе [5, 6]. Одной из таких систем является система МПЦ-МПК, разрабатываемая на кафедре «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» в Центре компьютерных железнодорожных технологий (ЦКЖТ) [7].

Как и любая система управления и контроля, МПЦ-МПК строится по многоуровневой структуре: от периферийных устройств до интерфейса управления дежурного по станции. К оборудованию МПЦ-МПК относят:

• автоматизированные рабочие места персонала;

• микропроцессорное и электротехническое оборудование, размещенное в специализированных шкафах;

• релейное и электротехническое оборудование, размещенное на релейных стативах;

• напольное технологическое оборудование (стрелочные электроприводы, светофоры и т. д.).

В состав МПЦ-МПК входят:

• автоматизированные рабочие места (АРМ) технического персонала;

• центральная вычислительная система, отвечающая за безопасную реализацию взаимозависимостей стрелок, сигналов и маршрутов для управления электрической централизацией, информационный обмен между всеми абонентами локальной вычислительной сети, сопряжение с системами удаленного контроля, управления и мониторинга;

• контроллеры безопасного сопряжения с объектами (КБСО), предназначенные для увязки центральной вычислительной системы и реализации алгоритмов управления напольными технологическими объектами;

• блоки сопряжения с дискретными объектами управления и контроля в цепях МПЦ-МПК, не отвечающие за безопасность движения;

• оборудование релейной, кабельная сеть, напольное оборудование, вспомогательное электротехническое оборудование системы, обеспечивающее передачу контрольных и управляющих воздействий между микропроцессорной частью МПЦ-МПК и объектами контроля и управления;

• устройства бесперебойного питания [7].

Для управления напольным технологическим оборудованием применяются специализированные КБСО, которые разделяются на несколько типов в зависимости от управляемых и контролируемых ими объектов. Например, за работу железнодорожной стрелки отвечает контроллер КБСО-СТ.

В основе всех контроллеров лежит использование специализированного контроллера с двухканальной структурой, имеющего контрольную схему с несимметричной характеристикой отказов. В зависимости от типа КБСО комплектуются различными силовыми платами и программным обеспечением.

В данной статье рассматриваются вопросы повышения надежности функционирования датчиков положения стрелок ДСТ, входящих в состав МПЦ-МПК [8]. ДСТ размещается в муфте стрелочного электропривода и связывается с объектным контроллером КБСО-СТ.

1 Датчик ДСТ

Датчик положения стрелки ДСТ предназначен для контроля положения стрелок в системе МПЦ-МПК. ДСТ анализирует входные кодовые последовательности и генерирует ответные кодовые последовательности [8]. Конструктивно ДСТ состоит из двух независимых блоков, размещенных в одном корпусе. При этом оба блока имеют различное программное обеспечение, выводы микроконтроллера и расположение элементов на печатных платах.

Функциональная структура ДСТ приведена на рис. 1. ДСТ подключается к линии связи с управляющим вычислительным комплексом через устройство защиты от перенапряжений (УЗ). Энергоснабжение компонентов блока осуществляется от линии связи через источники питания (ИП1 и ИП2 на схеме). Выход ИП1 имеет гальваническую развязку с входом ДСТ. Для бесперебойной работы источников питания в момент передачи входной и передачи ответной кодовых посылок, когда напряжение в линии кратковременно пропадает, и для стабилизации напряжения на входе источников питания предусмотрен компенсатор-стабилизатор (КС) с накопительным элементом. Микропроцессор датчика стрелки (МК) с целью обеспечения безопасности функционирования имеет гальваническую развязку через оптопары (ОП1 и ОП2). Источник питания ИП1 обеспечивает энергоснабжение микроконтроллера МК и оптопары ОП1, источник же питания ИП2 подключен к компаратору (КП) и усилителю (У). Компаратор предназначен для нормализации сигнала. Входной кодовый вектор передается через компаратор и оптопару ОП1 в микроконтроллер, в функции которого входит обработка принятой информации и передача ответных данных. Передача ответного кодового вектора производится путем замыкания ключа (К), управляемого усилителем через оптопару ОП2 по команде микроконтроллера.

Передача кодовых посылок осуществляется с использованием принципа асинхронного кодирования. При передаче от объектного контроллера КБСО-СТ в системе МПЦ-МПК (рис. 2), расположенного на посту электрической централизации, на ДСТ, размещаемого в муфте стрелочного электропривода, для кодирования логических уровней используется напряжение питания. Наличие напряжения питания соответствует логической единице, отсутствие напряжения питания с замыканием линии на стороне объектного контроллера КБСО-СТ – логическому нулю. При передаче ответной кодовой посылки от блока ДСТ на объектный контроллер КБСО-СТ используется токовое кодирование: передаче логической единицы соответствует разомкнутая линия и потребление датчиком положения стрелки только

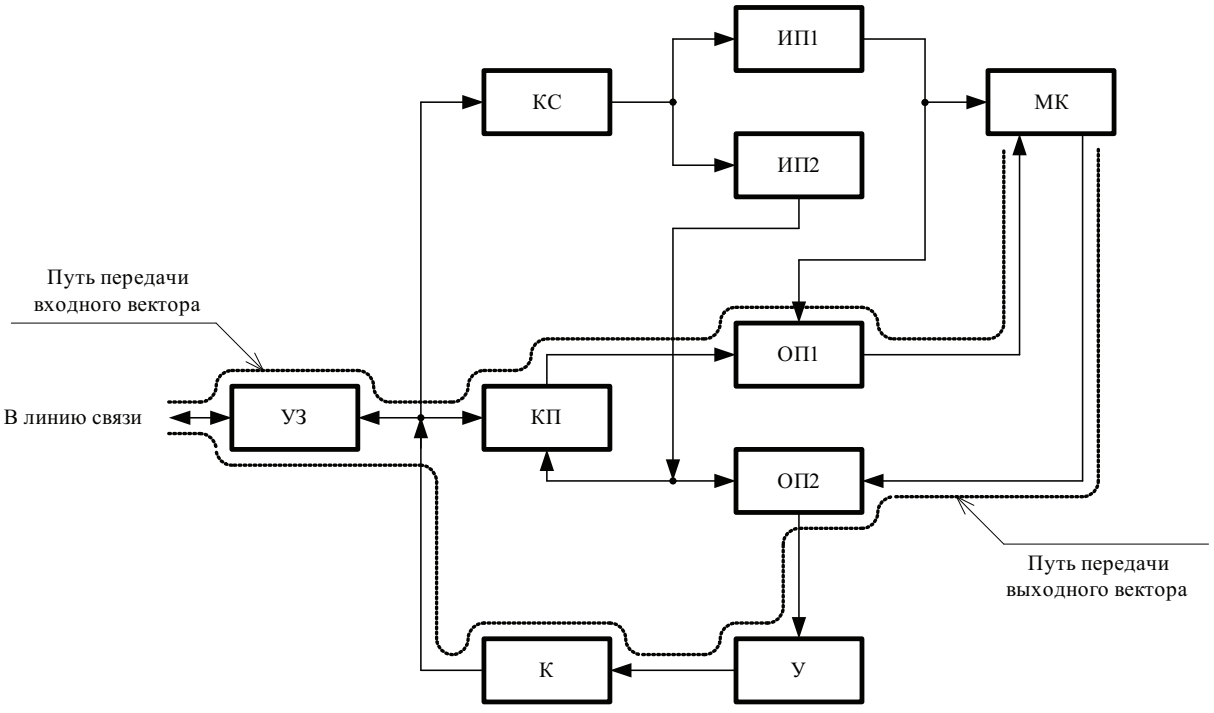


Рис. 1. Функциональная схема ДСТ

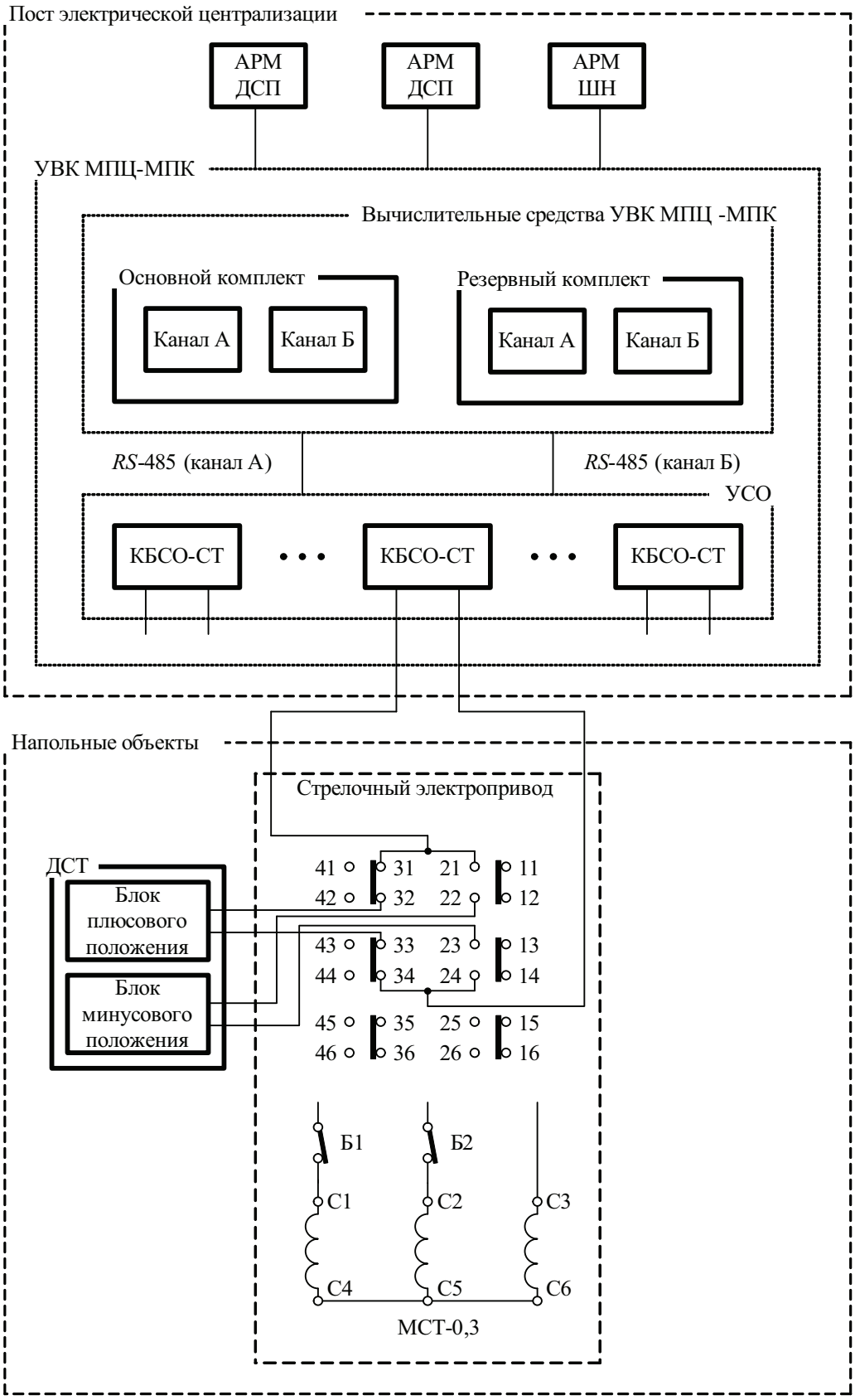


Рис. 2. Схема подключения ДСТ

тока, необходимого для его функционирования, передаче логического нуля соответствует замыкание датчиком контроля положения стрелки линии передачи. При этом ток потребления ДСТ значительно возрастает. ДСТ не имеет отдельных цепей питания, а необходимая ему для функционирования энергия передается кодовой посылкой от контроллера КБСО-СТ.

2 Кодирование передаваемой информации в ДСТ

Для управления стрелочным датчиком используется специально разработанное программное обеспечение, в функции которого входит прием кодовой последовательности, обработка полученных данных и отправка ответной кодовой последовательности. В ДСТ используется разный алгоритм обработки данных для каждого из блоков положения стрелки, таким образом, на запросы объектного контроллера КБСО-СТ блоки ДСТ будут отвечать разными кодовыми последовательностями. На основе этого принципа реализован механизм контроля положения стрелочного привода. ДСТ и линия подключены к контактам автопереключателя стрелочного электропривода таким образом, что в крайнем положении стрелки в линии может функционировать только один блок ДСТ.

Обмен данными между объектным контроллером и ДСТ осуществляется посредством кодовых посылок, для чего используется помехоустойчивое кодирование. При этом кодовая посылка, передаваемая контроллером КБСО-СТ, состоит из одного из шестнадцати случайных байтов информации. Обработка кодовой посылки осуществляется датчиком положения стрелки с использованием следующего алгоритма.

1. Для блока, подключаемого к линии контактами автопереключателя в минусовом положении, вычисляется сумма по модулю «два» между полученным первым байтом и байтом 170 (AAh). Для блока, подключаемого к линии контактами автопереключателя в плюсовом положении, вычисляется сумма по модулю «два» между полученным первым байтом и байтом 85 (55h). На рис. 3 показан результат вычислений для примера полученной кодовой посылки <00101101>.

Блок плюсового положения	Блок минусового положения
00101101	00101101
⊕ 01010101	⊕ 10101010
01111000	10000111

Рис. 3. Принцип вычисления ответа ДСТ на запрос КБСО-СТ

2. Рассчитывается контрольное слово ответа ДСТ на запрос КБСО-СТ.

3. Производится как непосредственнее вычисление результата с помощью арифметико-логического устройства, так и выбор значения из подготовленной при программировании микроконтроллера таблицы, расположенной во флэш-памяти программ. При идентичности полученных данных находится контрольный вектор для результата вычислений, ответный пакет передается в аппаратный приемопередатчик для отправки в линию. Информация об исправности устройства, получении пакета и его корректности передается на диагностический разъем.

Такой обмен посылками происходит каждые 50 мс.

Для расчета контрольного вектора ответа ДСТ применяется систематический код, к которому предъявляется ряд требований. Они определяются последствиями наиболее вероятных отказов системы из линии связи, блока ДСТ и автопереключателя.

Во-первых, циклический сдвиг пакета ответа ДСТ не должен являться разрешенным словом. Так как в работоспособном состоянии контроллера КБСО-СТ запрос от него может иметь вид только одного из восьми байт (из 256 возможных восьмиразрядных комбинаций), то и разрешенных ответов от ДСТ может

быть только шестнадцать (восемь от «плюсовых» датчиков и восемь от «минусовых»). Остальные слова, даже если они принадлежат выбранному коду, разрешенными не являются. Во-вторых, при инверсии всех информационных и контрольных разрядов не должно образовываться кодовое слово выбранного для организации кодирования кода. В-третьих, при наложении кодовых комбинаций ответов от разных ДСТ на один и тот же запрос КБСО-СТ не должно образовываться разрешенное кодовое слово.

В разработке ЦКЖТ 2010 г. для кодирования ответа датчика положения стрелки был использован код Хэмминга [9]. В коде Хэмминга контрольные разряды занимают в кодовом векторе разряды с двоичными номерами, равными степени числа «два»: 1, 2, 4, …, 2^i. Каждый контрольный разряд вычисляется как сумма по модулю «два» значений информационных разрядов, стоящих на определенных позициях в информационном векторе. Суммируемые позиции определяются двоичными номерами информационных и контрольных векторов. Для получения значения *i*-го контрольного разряда берется линейная сумма тех информационных разрядов, в двоичном эквиваленте номеров которых на *i*-м месте справа расположена единица. Таким образом, число контрольных разрядов находится в зависимости от числа информационных: это ближайшее целое, удовлетворяющее неравенству $2^k - k \geq m + 1$, где m – число информационных разрядов; k – число контрольных разрядов. Общая длина кодовой комбинации, соответственно, равна $n = m + k$. Пользуясь введенными обозначениями, код Хэмминга обозначим как $H(n, m)$-код.

Кодовый вектор такого кода при длине информационного слова $m = 8$ содержит число контрольных разрядов $k = 4$, т. е. используется $H(12,8)$-код.

Таким образом, ответ ДСТ состоял из 12 битов информации, а общий цикл передачи данных между контроллером КБСО-СТ и датчиком содержал 20 бит. Так, например, на запрос <00101101> следовал ответ <100111111000>, если стрелка находилась в плюсовом положении, и <001100010111>, если стрелка находилась в минусовом положении. Один цикл работы контроллера предполагал передачу и прием суммарно 20 бит информации.

Для стрелок, расположенных на небольшом удалении от поста электрической централизации, передача двух кодовых комбинаций требует времени на порядок меньше, чем цикл работы контроллера КБСО-СТ. Однако для связи с удаленными стрелками (4–6 км) длительность импульса увеличивалась до 2 мс. Это позволяло придать сообщению энергию, необходимую для гарантированного распознавания сигнала, передающегося постоянным током на километровые расстояния, а также достаточную для устойчивого питания блока ДСТ. При неблагоприятных условиях передачи сигнала обмен посылками с удаленной стрелкой мог занять более 50 мс, т. е. становился равным длительности цикла работы КБСО-СТ. При этом передача данных в линию сразу с обоих концов в начале следующего цикла передачи не была гарантированно защищена от сбоев в работе контроллера и, как следствие, сбоев в работе МПЦ-МПК.

Таким образом, для обеспечения надежности работы ДСТ необходимо было применить код с меньшим количеством контрольных разрядов. Анализ методов помехоустойчивого кодирования показал, что наиболее эффективным техническим решением является применение модульно-модифицированных кодов, разработанных в [10].

Модульно-модифицированный код строится по следующим правилам:

1. Подсчитывается вес информационного вектора r;

2. Выбирается модуль $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil - 1}$;

3. Вес r подсчитывается по выбранному модулю $(r) mod M$;

4. Подсчитывается специальный поправочный коэффициент α как сумма по модулю «два» заранее выбранных информационных разрядов;

5. Подсчитывается результирующий вес информационного слова $W = (r) mod M + \alpha M$;

6. Число W представляется в двоичном виде.

Модульно-модифицированные коды обозначают как *RSM* (n, m)-коды. В [10] подробно изучены свойства модульно-модифицированных кодов. Показано, что при вычислении коэффициента α как суммы по модулю «два» $\frac{m}{2}$ при четном числе информационных разрядов и суммы по модулю «два» $\frac{m \pm 1}{2}$ при нечетном числе информационных разрядов дает возможность получения *RSM* (n, m)-кода с минимальным общим числом необнаруживаемых искажений. В табл. 1 приводится несколько примеров получения контрольных векторов для *RS*2(10,8)-кода, у которого поправочный коэффициент вычисляется как $\alpha = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_4$.

Для гарантированной реализации полного цикла опроса ДСТ в течение отведенного на это времени для любой удаленной стрелки в самых неблагоприятных условиях передачи *H*(12,8)-код было решено заменить на *RS*2(10,8)-код. Данный код имеет на два контрольных разряда меньше, чем код Хэмминга (рис. 4).

Выбранный *RS*2(10,8)-код полностью удовлетворяет всем условиям, предъявляемым к варианту кодирования:

1. Циклический сдвиг разрядов в кодовой комбинации не приводит к формированию разрешенной комбинации. Например, если ответ датчика плюсового положения на запрос <00101101> имеет вид <01111000.10> (точкой разделены информационный и контрольный векторы), то кодовое слово <11110001.00>, представляющее собой циклический сдвиг ответа влево, не является разрешенным словом – вектором *RS*2(10,8)-кода;

2. Инверсия разрядов не является кодовым словом *RS*2(10,8)-кода. Например, в результате такой инверсии слово <01111000.10> преоб-

ТАБЛИЦА 1. Некоторые векторы *RS*2 (10,8)-кода

Информационные разряды								r	(r) $modM$	α	W	Контрольные разряды	
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8					y_1	y_2
0	1	0	1	0	1	0	0	3	1	0	1	0	1
0	1	0	0	0	0	1	0	2	0	1	2	1	0
0	1	1	1	1	0	0	0	4	0	1	2	1	0
0	1	1	0	1	1	1	0	5	1	0	1	0	1

Рис. 4. Сравнение полных циклов опроса ДСТ при различных вариантах кодирования

разуется в <10000111.01>, и преобразованная посылка не принадлежит *RS*2(10,8)-коду;

3. При наложении кодовых комбинаций от ДСТ различных положений не получается кодовой комбинации *RS*2(10,8)-кода. Например, ответом датчика плюсового положения на запрос <00101101> является <01111000.10>, а датчика минусового положения – <10000111.10>. Результатом наложения комбинаций может стать конъюнкция или дизъюнкция значений соответствующих разрядов. Таким образом, в результате подключения к линии связи обоих ДСТ (по любой причине) контроллер КБСО-СТ примет ответ вида <11111111.10> либо <00000000.10>. Обе этих кодовых комбинации не являются разрешенными словами *RS*2(10,8)-кода.

Подобным образом были проанализированы все возможные ответы ДСТ при использовании *RS*2(10,8)-кода. В табл. 2 приведен перечень всех возможных запросов, передаваемых контроллером КБСО-СТ, находящимся в работоспособном состоянии, и ответов на них «плюсовым» и «минусовым» каналами блока ДСТ.

Заключение

При создании современных систем ЖАТ на микропроцессорной основе учитывается опыт эксплуатации систем прошлых поколений, а также достижения в области построения контролепригодных дискретных устройств, при работе которых определяются любые потенциально опасные нарушения. Развитию теории создания элементной базы, имеющей высокий уровень надежности и безопасности, посвящено множество работ, например [11–16]. В данной работе показано, как можно повысить надежность современных микропроцессорных систем управления и контроля за счет применения модульно-модифицированных кодов с суммированием [10]. *RSM*(*n*,*m*)-коды,

ТАБЛИЦА 2. Таблица истинности для кодовых посылок

Запрос								Положение стрелки	Ответ ДСТ								Контрольный вектор *RS*2 (10,8)-кода	
0	0	0	0	0	0	0	1	+	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
0	0	0	1	0	1	1	1	+	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
0	0	1	0	1	1	0	1	+	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0
0	0	1	1	1	0	1	1	+	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1
0	1	0	0	1	1	1	1	+	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1
0	1	0	1	1	0	0	1	+	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	1	+	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0
0	1	1	1	0	1	0	1	+	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	–	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1
0	0	0	1	0	1	1	1	–	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0
0	0	1	0	1	1	0	1	–	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	0	1	1	–	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1
0	1	0	0	1	1	1	1	–	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1
0	1	0	1	1	0	0	1	–	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
0	1	1	0	0	0	1	1	–	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
0	1	1	1	0	1	0	1	–	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1

в отличие от классических кодов Хэмминга, имеют фиксированное число контрольных разрядов (в зависимости от значения модуля *M*), что позволяет эффективно использовать их в системах диагностирования и передачи данных. *RSM*(*n*,*m*)-коды соответствуют требованиям безопасности, предъявляемым к устройствам автоматического управления и контроля, и позволяют гарантированно передавать информационные посылки, укладываясь в цикл опроса.

Таким образом, разработанные в [10] модульно-модифицированные коды позволяют повысить эффективность управления напольным технологическим оборудованием железнодорожных станций. Практическим результатом исследования является применение *RS*2(10,8)-кода взамен *H*(12,8)-кода при реализации программного обеспечения ДСТ на станциях «Ангарич» и «Хоных» Забайкальской железной дороги [17].

Библиографический список

1. **Основы** проектирования электрической централизации промежуточных станций : учеб. пособие / В. А. Кононов, А. А. Лыков, А. Б. Никитин. – Москва : ФГБОУ Учеб.-методич. центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2013. – 348 с.

2. **Автоматизированная** система экспертизы схемных решений железнодорожной автоматики и телемеханики / М. Н. Василенко, А. М. Горбачев, Д. В. Зуев, Е. В. Григорьев // Транспорт РФ. – 2011. – № 5 (36). – С. 64–67.

3. **Техническое** диагностирование и мониторинг состояния устройств ЖАТ / А. А. Лыков, Д. В. Ефанов, С. В. Власенко // Транспорт РФ. – 2012. – № 5 (42). – С. 67–72.

4. **Аспекты** создания интегрированной сети скоростного и высокоскоростного сообщения в Российской Федерации / А. С. Мишарин // Транспорт РФ. – 2014. – № 2 (51). – С. 9–13.

5. **Тенденции** развития электрической централизации и компьютерных систем оперативного управления движением поездов на станциях / А. Б. Никитин, С. В. Бушуев // Транспорт Урала. – 2006. – № 2. – С. 14–18.

6. **Микропроцессорные** системы централизации : учеб. для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / Вл. В. Сапожников и др. – Москва : ГОУ учеб.-методич. центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2008. – 398 с.

7. **МПЦ-МПК :** Система микропроцессорной централизации [Электронный ресурс]. – URL : http://www.crtc.ru/mpc.php (дата обращения 07.04.2014).

8. **Микропроцессорная** централизация на базе микроЭВМ и программируемых контроллеров МПЦ-МПК. Стрелочный датчик ДСТ. Доказательство безопасности. ЦКЖТ. 668991.617 ДБ. – Санкт-Петербург : ЦКЖТ. – 2010. – 22 с.

9. **Hamming, R. W.** (1950). Error detecting and correcting codes // Bell System Tech. J. – 29 (2), 147–160.

10. **Efanov, D.,** Sapozhnikov, V., Sapozhnikov, Vl., Blyudov A. (2013). On the problem of selection of code with summation for combinational circuit test organization // Proceedings of 11th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTS`2013), Rostov-on-Don, Russia, Sept. 27–30, 261–266.

11. **Методы** обеспечения безопасности дискретных систем / Д. В. Гавзов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 8. – С. 3–50.

12. **Методы** построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Х. А. Христов, Д. В. Гавзов. – Москва : Транспорт, 1995. – 272 с.

13. **Устройства** защиты от импульсных перенапряжений электронных систем / А. Б. Никитин, А. Д. Манаков // Транспорт : наука, техника, управление. – 2010. – № 5. – С. 14–17.

14. **Рабочее** диагностирование безопасных информационно-управляющих систем / А. В. Дрозд, В. С. Харченко, С. Г. Антощук и др. ; под ред. А. В. Дрозда, В. С. Харченко. – Харьков : Нац. аэрокосмический ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2012. – 614 с.

15. **Обеспечение** тестируемости задержек путей при синтезе схем покрытием BDD-графов / А. Ю. Матросова, Д. В. Кудин, Е. А. Николаева, Е. В. Румянцева // Вестн. Томск. гос. ун-та (Управление, вычислительная техника и информатика). – 2013. – № 2 (23). – С. 130–139.

16. **Синтез** детекторов равновесных кодов с использованием монотонных функций / А. Ю. Матросова, Н. Б. Буторина, Н. О. Якимова // Изв. высш. учеб. заведений (Физика). – 2013. – Т. 56, № 9–2. – С. 171–173.

17. **Исследование** модифицированных кодов с суммированием в системах технической диагностики и обработки информации в устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики : автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.13.06 / Блюдов Антон Александрович. – Санкт-Петербург, 2010. – 20 с.

УДК 004.891.3

Д. В. Зуев, Ф. Н. Лобанов, С. В. Белоусов, А. В. Белоусов
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЭКСПЕРТИЗА СХЕМ НАПОЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Описана автоматизированная экспертиза схем напольного технологического оборудования железнодорожной автоматики и телемеханики. Рассмотрены задачи и функции системы. В первом разделе описаны основные подсистемы и выполняемые ими функции, приведена структурная схема автоматизированной системы экспертизы схемных решений. Далее перечислены различные виды технической документации, приведены примеры часто встречающихся ошибок в проектах. В последнем разделе названы основные виды проверок при экспертизе схем напольного технологического оборудования железнодорожной автоматики и телемеханики.

автоматизированная экспертиза, схемы напольного технологического оборудования, виды проверок.

Введение

Эффективная организация работы железнодорожного транспорта требует решения целого комплекса сложных задач. В связи с необходимостью широкой модернизации, реконструкции и замены устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) важной задачей является повышение качества проектной документации.

В связи с тем, что проектная документация на системы ЖАТ, создаваемая в процессе разработки устройств, связана с безопасностью движения поездов, особое внимание следует уделить системе контроля и обеспечения качества технической документации.

Несмотря на меры по улучшению качества проектов, в настоящее время при экспертизе проектно-сметной документации выявляется значительное количество ошибок, устранение которых на этапе строительно-монтажных и пусконаладочных работ, а также в процессе внедрения и эксплуатации устройств железнодорожной автоматики ведет к большим экономическим затратам. В ряде случаев это приводит к задержкам в движении поездов и к аварийным ситуациям.

Актуальность задачи сокращения ошибок в технической документации железнодорожной автоматики обусловлена также следующими причинами: низким качеством проектов ЖАТ, задержкой ввода устройств в эксплуатацию из-за большого объема вносимых изменений, нарушениями в организации процесса движения поездов в период пусконаладочных работ.

В настоящее время наиболее актуальным методом повышения качества проектов представляется метод комплексной проверки схемных решений с последующей оценкой качества проектов средствами автоматизированной экспертизы проектной документации, поэтому в данной статье рассмотрена автоматизированная система экспертизы схемных решений (АС ЭСР) ЖАТ.

Данная система разработана для решения вопросов экспертизы технической документации и в настоящее время не имеет аналогов.

АС ЭСР предназначена для обнаружения ошибок, возникающих в процессе:

- проектирования;
- внесения изменений;
- переноса на электронные носители.

1 Основные подсистемы АС ЭСР ЖАТ

АС ЭСР ЖАТ содержит пять основных подсистем (рис. 1).

В подсистеме сверки документации в отраслевом формате с нормативно-справочной информацией организован доступ к локальным базам данных всех типов технической документации, содержащим информацию по нормам и правилам проектирования и типовым проектным решениям. Эталонные значения параметров элементов и их структурных связей, которые определены в техническом задании (ТЗ), типовых проектных решениях, нормативах и правилах проектирования, сверяются с фактическими значениями в документе, что позволяет контролировать правильность составления технической документации. Посредством специализированного модуля проект сверяется с требованиями формализованного ТЗ. Для выявления несоответствий параметры и структуры различных типов документов также сверяются между собой.

Подсистема аналитических решений выполняет следующие расчетно-аналитические функции:

• расчет параметров тональных рельсовых цепей;

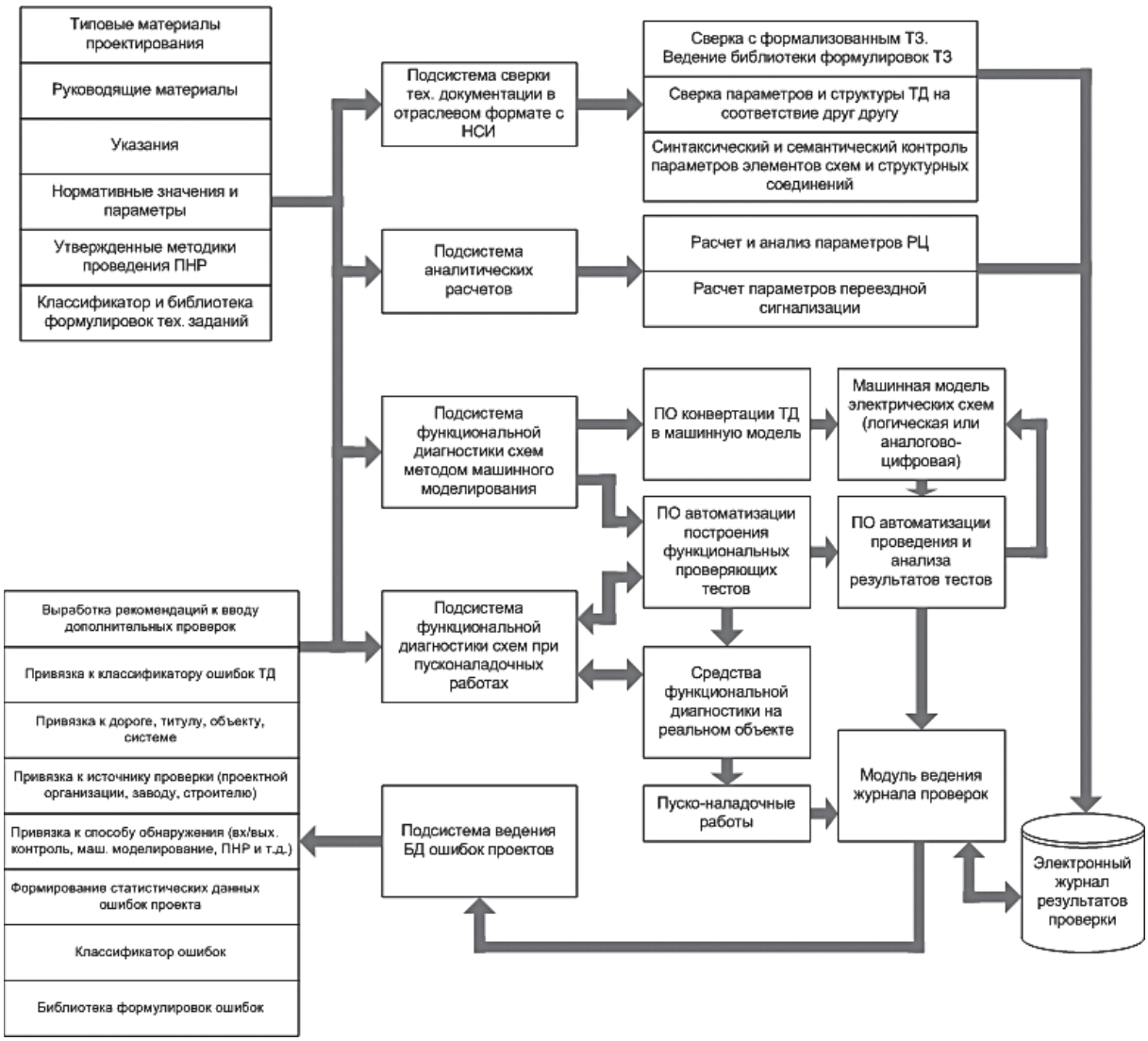


Рис. 1. Структурная схема АС ЭСР ЖАТ

• расчет параметров переездной и пешеходной сигнализации.

Расчеты производятся на основании исходных данных, полученных из технической документации в отраслевом формате. Параметры станционной переездной сигнализации рассчитываются на основе исходных данных, введенных на начальных этапах проектирования при формировании схематического плана станции. К исходным данным для расчета относятся длина, ширина, ордината переезда, поездные и маневровые скорости передвижения по переезду.

Планируется добавить в подсистему возможность выполнения следующих расчетно-аналитических функций:

• тяговые расчеты;

• расчет мощностей питающих установок;

• расчет кабельных сетей;

• расчет параметров извещения на мосты, тоннели, КТСМ;

• расчет экономической эффективности внедрения проектируемой системы.

В подсистеме функциональной диагностики схем методом машинного моделирования на компьютере автоматически создается аналог проектируемой системы, который работает так же, как реальная система, построенная по тем же принципиальным схемам. Программные модули, входящие в состав подсистемы, автоматически конвертируют электрические схемы проекта в машинную имитационную модель, синтезируют программы пусконаладочных работ устройств и реализуют внутримашинную модель проекта на уровне входных и выходных сигналов ЖАТ. При этом на выходе модуля конвертации формируется аналого-цифровая или логическая машинная имитационная модель электрических схем проекта.

Подсистема функциональной диагностики схем при пусконаладочных работах генерирует программу проверки систем ЖАТ, которая используется как в модуле автоматизации проведения тестов, так и в подсистеме диагностики проектов при пусконаладочных работах. Проверки, выявленные в процессе пусконаладочных работ и не вошедшие в программу, вводятся в автоматизированный модуль. В дальнейшем дополненные проверки будут включены в список тестов, генерируемых автоматизированными средствами. Это позволяет программе функциональной проверки проектов оперативно расширяться с учетом результатов пусконаладочных работ при вводе систем ЖАТ в эксплуатацию.

Последняя подсистема – ведения баз данных ошибок проектов – позволяет реализовать задачу обработки электронного журнала результатов проверки и привязки обнаруженных ошибок к общим данным проекта, источнику проверки, способу обнаружения, классификатору ошибок. Результатом обработки ошибок проекта являются статистические данные и выработка рекомендаций к вводу дополнительных проверок в автоматизированную систему экспертизы схемных решений ЖАТ. Привязка ошибок к общим данным проекта – а именно дороге, титулу, объекту, системе – обеспечивается благодаря организации доступа подсистемы ведения базы данных ошибок проектов к базе данных коллективного пользования АСУ-Ш2 и к базе данных технической документации.

Рассмотрим примеры вариантов ошибок, которые можно найти в проектах различных типов технической документации (см. таблицу).

2 Задачи АС ЭСР при проверке схем напольного технологического оборудования ЖАТ

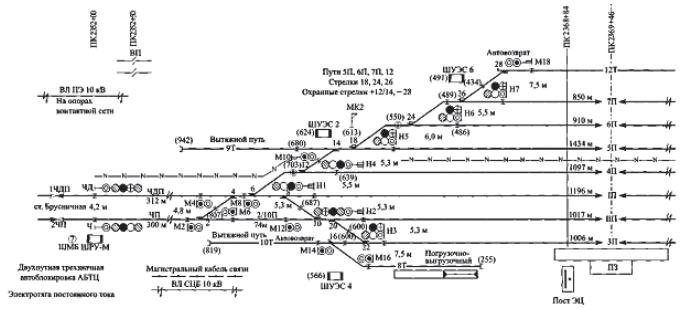
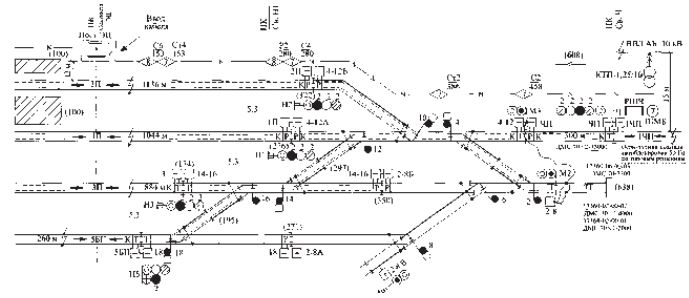
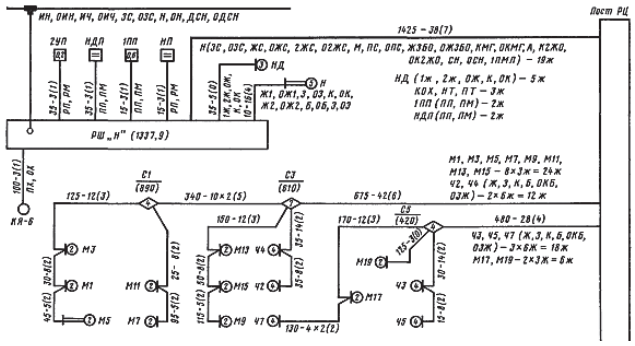
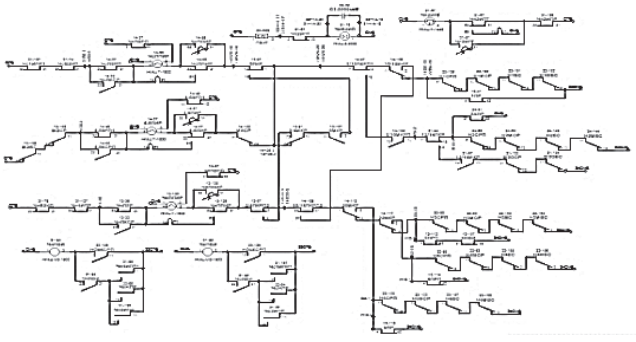
При проверке схем напольного технологического оборудования ЖАТ АС ЭСР выполняет следующие задачи:

1. Проверку на соответствие отраслевому формату, которая заключается в проверках на соответствие:

• составу формата (наименование, штамп, размер, № листа и т. п.);

• параметров элементов требованиям формата;

Типы технической документации и возможные ошибки

Тип документации	Варианты ошибок проекта
Схематический план станции (СПС) 	1. Не задана ордината 2. Не задана спаренность 3. Элемент не связан с другими элементами 4. Отсутствуют необходимые элементы в РЦ
Двухниточный план станции (ДПС) 	1. Не задано направление кодирования 2. Повторяющиеся наименования 3. Ошибка в связях
Кабельная сеть станции (КСС) 	1. Дублирование рельсовых цепей 2. Превышена емкость кабеля 3. Провода вне трассы кабеля 4. В кабеле нет запасных жил
Принципиальная электрическая схема (ПЭС) 	1. Не указаны атрибуты элементов 2. Элемент не связан с другими элементами

Окончание таблицы

Тип документации	Варианты ошибок проекта
Таблицы взаимозависимости (ТВЗ) 2. Основные поездные маршруты Направление | N маршрута | Наименование маршрута | Литер светофора | Стрелки ЧЧУ: 1 * Прием на путь 1П; 2 * Прием до светофора Ч1; 3 * Прием на путь 3П; 4 * Прием на путь 6П; 5 * Прием на путь 5П; 6 * Прием на путь 9П; 7 * Прием на путь 7П; 8 * Прием на путь 4П; 9 * Прием на путь 11П; 10 * Прием на путь 8П; 11 * Прием на путь 10П; 12 Отправление с пути 1П (НД) НЧИП 13 * Отправление с пути 1П (Ч2) 2ЧГП 14 Отправление с пути 1П; ЯГП 15 Отправление с пути 1П (Н2) 2ЧИ I 16 Прием на путь 1ПI; НЧИП 17 * Пропуск с 2ЧГП 2ЧИ I 18 Прием на путь 3АП; 19 Прием на путь 4П ЧЧУ 20 Пропуск с 2ЧГП 2ЧГП: 21 Прием до светофора Ч12; 22 Прием на путь 7П; 23 Прием на путь 5П; 24 Прием на путь 6П; 25 Прием на путь 8П (Ч)	1. Не указано положение стрелки для маршрута 2. Неверное название светофора 3. Неверное название маршрута
Монтажная электрическая схема (МЭС) 8 БТО2 | 7 БТО1 | 6 ВО2 | 5 ВО1 | 4 БО2 | 3 БО1 | 2 АО2 | 1 АО1	1. Несоответствие прямого и обратного адреса 2. Не указано наименование реле

• списку структурных связей элементов;

2. Проверку на выполнение требований технических условий (ТУ) и ТЗ. В АС ЭСР присутствует собственный редактор ТУ, ТЗ. Также производится проверка на непротиворечивость имеющихся ТУ и ТЗ, выделение списка возможных проверок из ТЗ и ТУ и проверка каждого вида технической документации на непротиворечивость ТЗ и ТУ;

3. Сверку технической документации одного типа, а именно:

• контрольного и рабочего вариантов одного и того же документа;

• после внесения изменений в контрольный вариант;

4. Сверку на соответствие документов при внесении изменений. Проверяется соответствие следующих типов документации:

СПС ⇔ ДПС
ДПС ⇔ КТТ
ДПС ⇔ КСС
СПС ⇔ ТВЗ
ТВЗ ⇔ ПЭС
ПЭС ⇔ МЭС;

5. Проверку на соответствие требованиям нормативно-справочной информации (НСИ), инструкциям, указаниям, типовым материалам проектирования. На рисунках 2–5 представлены виды проверок для каждого типа технической документации.

Заключение

По результатам проверок технической документации составляется запись в электрон-

Рис. 2. Виды проверок СПС на соответствие НСИ

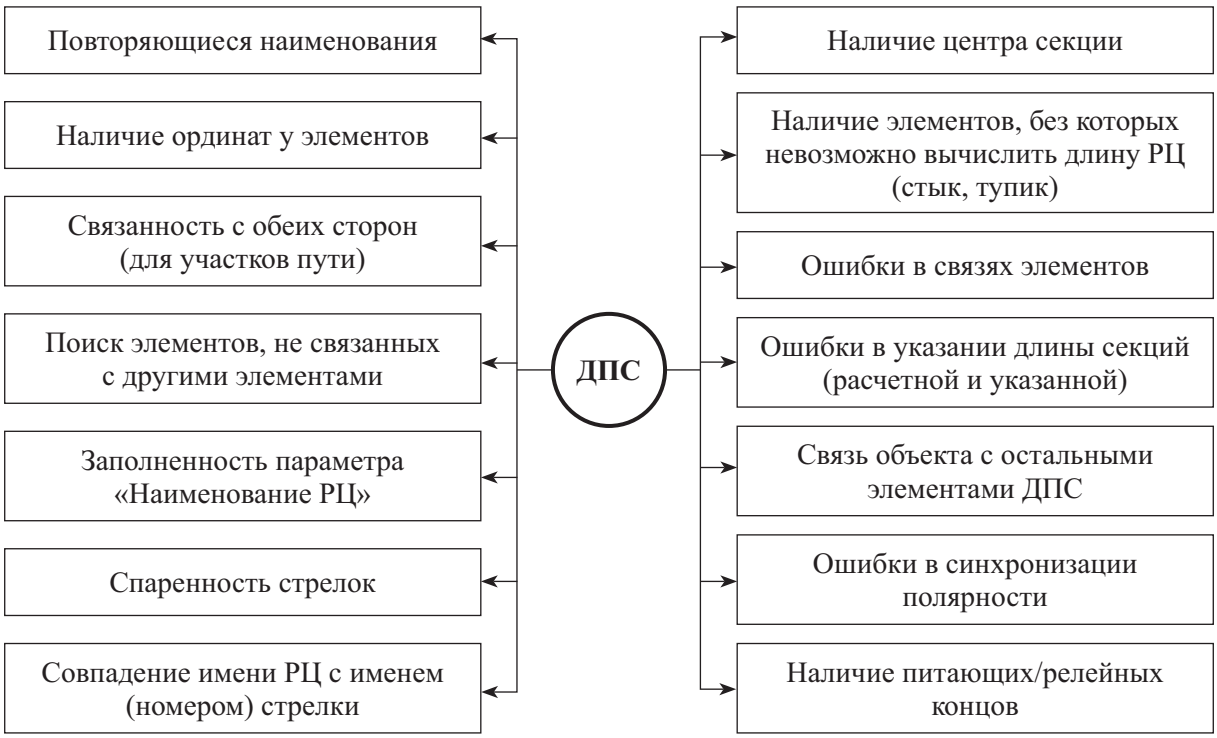


Рис. 3. Виды проверок ДПС на соответствие НСИ

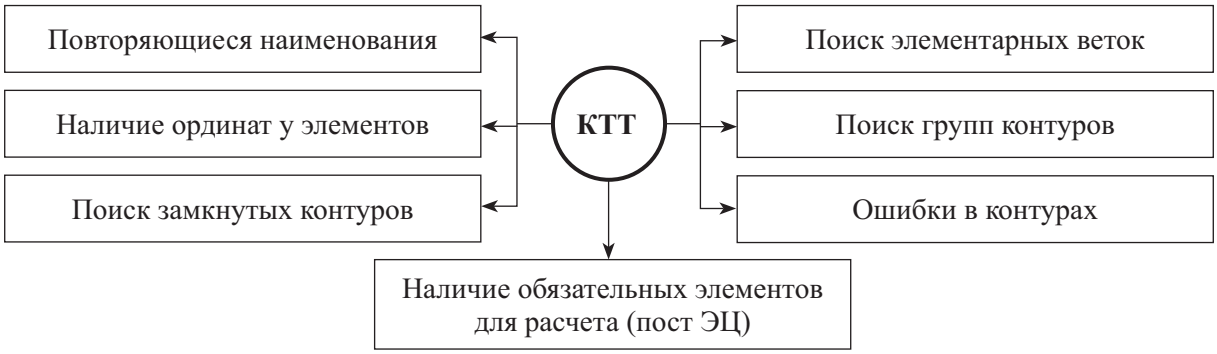


Рис. 4. Виды проверок КТТ на соответствие НСИ

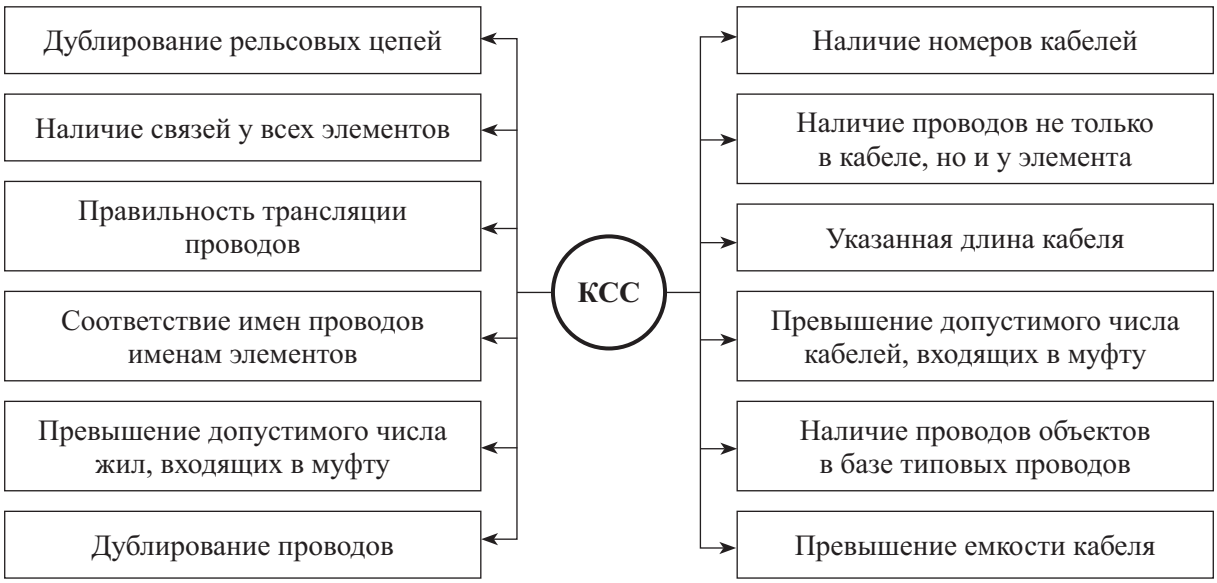


Рис. 5. Виды проверок КСС на соответствие НСИ

ном журнале проверок, описывающая найденные ошибки. Система позволяет существенно ускорить экспертизу технической документации, что повышает эффективность работ по вводу новых систем железнодорожной автоматики и телемеханики в эксплуатацию и улучшает культуру труда персонала.

В настоящее время система внедряется на базе электротехнического отдела института «Ленгипротранс». По результатам опытной эксплуатации будет принято решение о расширении функций экспертизы схем железнодорожной автоматики и телемеханики.

Библиографический список

1. **Нормы** технологического проектирования устройств автоматики и телемеханики на федеральном железнодорожном транспорте (НТП СЦБ/МПС-99). – Санкт-Петербург : ГУП «Гипротранссигналсвязь»,1999.

2. **Отраслевой** формат технической документации на устройства СЦБ (2003) / М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, П. Е. Булавский, О. А. Максименко // АСИ. – № 4.

3. **Эксплуатационные** основы автоматики и телемеханики. – Москва : Маршрут, 2006.

УДК 629.4.048

И. Г. Киселев, М. Ю. Кудрин, В. П. Приймин
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

О ВЫБОРЕ ХЛАДАГЕНТА ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПАССАЖИРСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Рассмотрены достоинства и недостатки используемых фреонов и возможности перевода климатических установок пассажирского подвижного состава на новые типы хладагентов. В отличие от использующихся в настоящее время хладонов, перспективные вещества обладают лучшими экологическими показателями и позволяют в некоторых случаях улучшить производительность установки, а также расширить температурный диапазон применения режима «тепловой насос». Рассмотрены несколько семейств хладагентов, подходящих для применения на транспорте, а также основные тенденции мировой холодильной промышленности, главная из которых – стремление перейти на природные хладагенты.

пассажирский подвижной состав, железнодорожные транспортные климатические установки, система кондиционирования, хладагенты, потенциал глобального потепления, потенциал истощения озонового слоя.

Одной из систем, обеспечивающих комфортный микроклимат в пассажирских вагонах, является система кондиционирования воздуха. На сегодня в ОАО «Федеральная Пассажирская Компания» (ФПК) насчитывается около 22,8 тыс. вагонов, из них системой кондиционирования воздуха (СКВ) оборудованы более 12 тыс., т. е. немногим более половины (53 %) парка [1]. Не стоит забывать, что совсем недавно система кондиционирования считалась самой неэффективной в плане энергосбережения и одной из наиболее дорогостоящих систем. В настоящее время с учетом текущей экологической обстановки, важным показателем климатических систем, на наш взгляд, помимо цены является их экологическая безопасность. Экологическая безопасность СКВ напрямую зависит от хладагента, которым заправлена установка. Показателями влияния хладагента на окружающую среду являются потенциал истощения озонового слоя и потенциал глобального потепления (ПГП). Потенциал истощения озонового слоя (или озоноразрушающий потенциал – ОРП) является сравнительной мерой и показывает, насколько опасным является вещество для озонового слоя атмосферы по сравнению с хлорфторуглеродом (за единицу принят коэффициент хладагента R11). ПГП определяет степень влияния парниковых газов на процесс глобального потепления (за единицу принят коэффициент диоксида углерода).

До недавнего времени в парокомпрессионных установках кондиционирования воздуха повсеместно использовались хладагенты, которые были получены из углеводородов замещением атомов водорода атомами хлора и фтора (табл. 1).

Согласно положениям Монреальского протокола (1987 г.), использование хлорфторуглеродных хладонов было прекращено в большинстве стран. С 2013 г. в Российскую Федерацию запрещен ввоз озоноразрушающих веществ и содержащей их продукции. Характеристики хлорфторуглеродных хладагентов и их влияние на атмосферу приведены в табл. 1. На смену озоноразрушающим хладонам пришли гидрофторуглеродные (ГФУ) хладагенты, наибольшее распространение из них получили хладоны R134a, R23, R32, R143a (табл. 2) и многочисленные смеси на их основе (табл. 3). Потенциал истощения озонового слоя у этого семейства хладагентов равен нулю, однако эти вещества имеют очень высокий потенциал глобального потепления и требуют использования

ТАБЛИЦА 1. Характеристики хлорфторуглеродных хладагентов

Хладагент	Молекулярная масса	Параметры критической точки		Температура кипения, °С	ОРП	ПГП
		t, °С	Р, МПа			
R11	137,37	198,0	4,41	23,7	1	4600
R12	120,9	112,0	4,14	–29,8	0,82	10600
R22	86,47	96,2	4,99	–41,4	0,034	1700

ТАБЛИЦА 2. Свойства гидрофторуглеродных хладонов

Хладагент	Молекулярная масса	Параметры критической точки		Температура кипения, °С	ОРП	ПГП
		t, °С	Р, МПа			
R134a	102,03	101,1	4,06	–26,1	0	1300
R143a	84,04	72,9	3,78	–47,2	0	4300

ТАБЛИЦА 3. Свойства гидрофторуглеродных хладоновых смесей

Хладоновая смесь	Состав	Отношение по массе	Параметры критической точки		Температура кипения, °С	Молекулярная масса	ОРП	ПГП
			t, °С	Р, МПа				
R404A	R125/ R143a/ R134a	44:52:4	72,1	3,74	–46,6	97,60	0	3800
R407C	R32/ R125/ R134a	23:25:52	87,3	4,63	–43,8	86,2	0	1700
R410A	R32/ R125	50:50	72,5	4,95	–51,6	72,8	0	2000
R507	R125/ R143a	50:50	72,5	4,95	–50,98	98,86	0	3900

дорогостоящих и небезопасных для человека синтетических смазок, так как не смешиваются с минеральными маслами.

Альтернативным семейством хладагентов, обладающим требуемыми термодинамическими свойствами и не влияющим на озоновый слой, являются углеводороды, или НС-хладагенты (табл. 4). Они безопасны для окружающей среды, смешиваются с большинством минеральных масел и синтетических смазок и могут быть использованы в качестве альтернативных без замены смазки в существующих установках, использующих хлорфторуглеродные хладоны. Однако углеводороды крайне

ТАБЛИЦА 4. Свойства некоторых НС-хладагентов

Хладоновая смесь	Состав	Отношение по массе	Параметры критической точки		Температура кипения, °С	Молекулярная масса	ОРП	ПГП
			t, °С	P, МПа				
R170 (этан)	–	–	90	4,87	–88,9	30,07	0	20
R290 (пропан)	–	–	96,7	4,25	–42,2	44,1	0	20
R600a (изобутан)	–	–	134,7	3,64	–11,7	58,12	0	20
NRM	R134a/R290	45:55	98,68	4,16	–34,95	70,16	0	596
R430A	R152a/R600a	76:24	118,43	4,30	–21,04	64,14	0	104
R431A	R290/R152a	71:29	101,51	4,32	–43,1	50,46	0	43

легковоспламенимы, что лимитирует их использование в установках большой мощности [2].

Для устранения недостатков семейств НС- и ГФУ-хладагентов их смешивают друг с другом, благодаря чему улучшается смешиваемость с минеральными маслами и снижается воспламеняемость [3]. Примерами таких смесей являются R430A и R431A (табл. 4).

Экологические показатели, смешиваемость с минеральными маслами и улучшенные термодинамические характеристики заставляют обратить внимание на смесевые ГФУ/НС-хладагенты как на хладоны переходного периода от синтезированных к естественным хладагентам. В них снижена (хотя до конца и не устраняется) воспламеняемость углеводород-хладонов. Они представляются перспективными хладагентами для железнодорожного транспорта, если производители транспортных климатических установок решат пойти на риск использования огнеопасных веществ-хладоносителей.

Относительно недавно в группе хладагентов, выпускаемых в промышленном масштабе, появилось новое вещество – однокомпонентный хладагент R-1234yf, или гидрофторолефин (табл. 5).

По данным компании Honeywell, которая является ведущим в мире производителем R-1234yf, потенциал глобального потепления этого хладагента меньше единицы [5]. Благодаря схожим термодинамическим характеристикам нового хладагента с хладоном

ТАБЛИЦА 5. Сравнение хладагентов R-134a и R-1234yf

Хладагент	Срок стабильного существования в атмосфере	ОРП	ПГП
R-1234yf*	10,5 сут.	0	4
R-134a	13,4 лет	0	1300

Примечание. * Приведены данные из [4].

R-134a внесения существенных изменений в конструкцию климатических установок не потребуется. В атмосфере гидрофторолефин разлагается на трифторуксусную кислоту, которая слабо фитотоксична, как и другие органические кислоты. В настоящее время этот хладон используется в основном в автомобильных кондиционерах, по оценкам специалистов, широкое распространение R-1234yf в мире сравнимо с выводом из эксплуатации более 30 млн автомобилей [4]. Однако сравнительно недавняя проверка этого хладагента фирмой Daimler в условиях лобового столкновения автомобилей, при котором происходит разрыв хладопровода и попадание паров в горячий отсек двигателя автомобиля, показала, что R1234yf огнеопасен, и в случае возникновения пожара продукт разлагается с образованием высококоррозионных и токсичных веществ [6].

Вероятнее всего, учитывая воспламеняемость этого вещества, гидрофторолефин в ближайшее время не будет использован в климатических установках железнодорожного транспорта (даже с учетом его экологических характеристик), тем более что цена R-1234yf на сегодня в несколько раз превышает цену R134a.

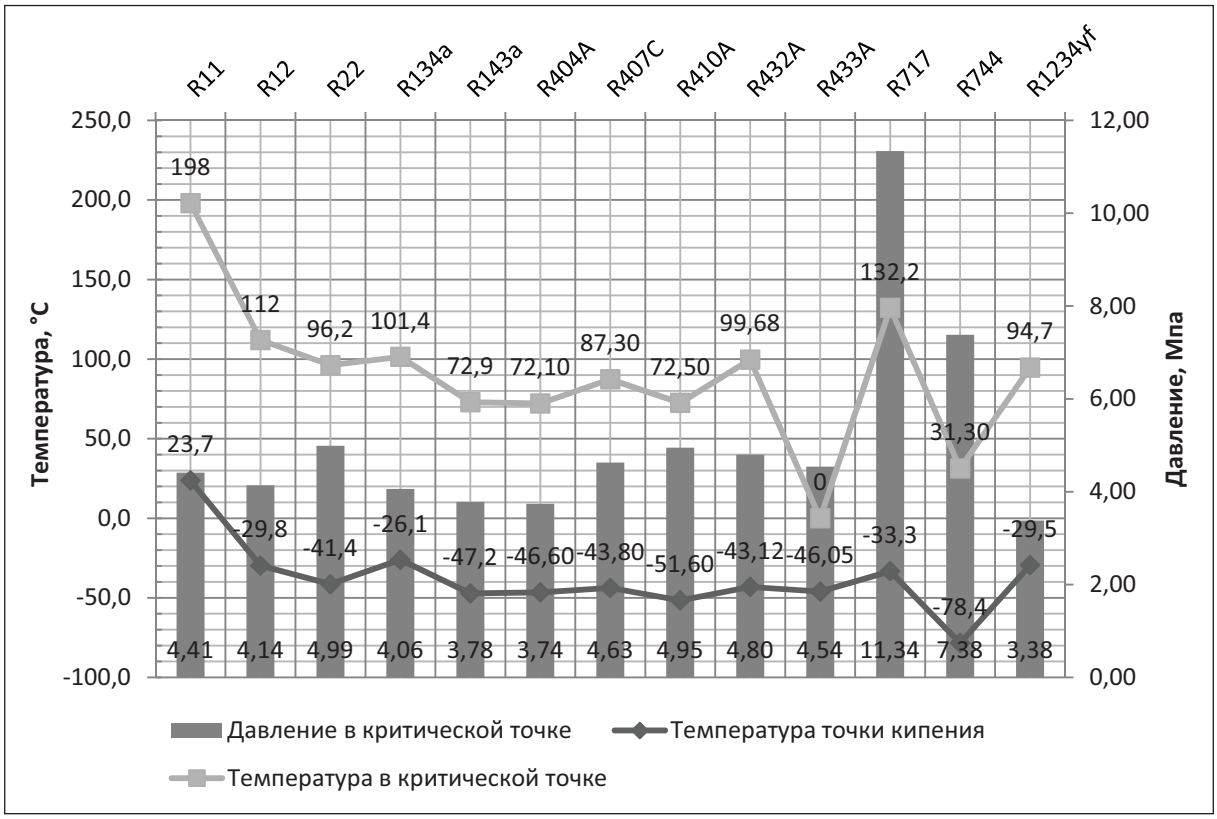
В настоящее время большой интерес в качестве рабочих агентов для железнодорожных климатических установок представляют природные хладагенты, например, R744 (углекислый газ), R717 (аммиак) и R729 (воздух). Из них, на наш взгляд, только R744 обладает некоторыми преимуществами: не горюч, не токсичен (в отличие от R717), имеет хорошие термодинамические характеристики (в отличие от R729), низкую стоимость и оказывает минимальное влияние на окружающую среду. Важной особенностью системы кондиционирования, работающей на углекислом газе, является возможность работы установки в режиме теплового насоса, кроме того, использование R744 позволяет создавать установки с очень компактными размерами [7]. Недостатком установок на углекислом газе является большое рабочее давление хладагента – более 80 атмосфер.

Для преодоления этого недостатка R744 смешивают с другими хладагентами, создавая таким образом приемлемые характеристики смеси (табл. 6).

Использование режима «тепловой насос» является одним из самых популярных и эффективных путей энергосбережения в системах кондиционирования. Большинство установок кондиционирования воздуха для подвижного состава, выпускаемых отечественными производителями (ЗАО «Петроклима», «Лантеп» и др.), могут работать в этом режиме в достаточно узком диапазоне температур наружного воздуха от +16 до –8 °С, т. е. во время переходных периодов года. Годовая экономия электроэнергии на один вагон при этом составляет 21600 кВт·ч [7]. Добиться еще большей экономии позво-

ТАБЛИЦА 6. Свойства смесевых хладагентов, включающих в свой состав R744

Хладоновая смесь	Состав	Отношение по массе	Параметры критической точки		Температура кипения, °С	Молекулярная масса
			t, °С	Р, МПа		
NRM	R744/R32/R134a	7:31:62	89,1	4,83	–36,69	82,46
NRM	R744/R600	50:50	91,5	5,59	–39,45	51,06
NRM	R744/R600a	50:50	82,9	5,51	–45,05	51,06
NRM	R744/R134A	30:70	80,1	5,056	–41,79	84,62
NRM	R744/R290	30:70	77,02	5,189	–53,06	44,07



Основные параметры рассматриваемых хладагентов

лило бы расширение диапазона температур, при которых возможно использование режима «тепловой насос». Для этого необходимо подбирать вещества с возможно более низкой температурой кипения. Из семейства ГФУ-хладагентов наиболее подходящими для этой задачи окажутся смесевые хладоны R404a, R407c и R410a (см. табл. 3).

Для наглядности на рисунке графически представлены наиболее важные характеристики рассмотренных хладонов.

Заключение

Для климатических установок пассажирского подвижного состава в целях расширения диапазона температур применения режима «тепловой насос» наиболее подходящим хладагентом на текущий момент является R407c. Несмотря на некоторые сложности, связанные с использованием синтетического масла, в целом переход на данный хладагент позволит добиться еще большей экономии энергоресурсов при минимальном вмешательстве в конструкцию имеющихся агрегатов. Однако нельзя не учитывать имеющиеся в мировой холодильной промышленности тенденции, главная из которых – стремление перейти на природные хладагенты, оказывающие минимальное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Учитывая, что в развитых странах ведутся активные разработки транспортных систем кондиционирования воздуха на углекислом газе (концернами BMW и Daimler, например), этот хладагент (R744) представляется одним из самых перспективных для использования в железнодорожных климатических установках пассажирского подвижного состава.

Библиографический список

1. **266 новых** пассажирских вагона приобретено ОАО «ФПК» за 9 месяцев 2012 года [Электронный ресурс]. – URL : http://ozd.rzd.ru/

news/public/ru?STRUCTURE_ID=2&layer_id=4069&id=150202 (дата обращения 12.05.2014).

2. **Palm, B.** Hydrocarbons as refrigerants in small heat pump and refrigeration systems – a review // Int. J. Refrigeration. – 2008. – N 31. – P. 552–563.

3. **Mohanjraj, M.,** Muraleedharan, C., Jayaraj, S. A review on recent developments in new refrigerant mixtures for vapour compression-based refrigeration, air conditioning & heat pumps units / M. Mohanjraj // Int. J. Energy Res. – 2011. – N 35. – P. 647–669.

4. **«Honeywell»** инвестирует в расширение производства ГФО-1234yf в США [Электронный ресурс]. – URL : http://www.ozoneprogram.ru/novosti/honivell_investiruet_gfo_1234yf (дата обращения 10.02.2014).

5. **Environmental** impact of Solstice yf refrigerant / Fact sheet. 2014 [Электронный ресурс]. – URL : http://www.1234facts.com/solstice-yf-refrigerant/#environmental-impact (дата обращения 10.02.2014).

6. **Хладагенты** и окружающая среда / О. Б. Цветков // Холодильная техника. – 2013. – № 1. – С. 20.

7. **Способы** повышения эффективности режима «тепловой насос» в пассажирских вагонах железнодорожного транспорта : дис. … канд. техн. наук / А. В. Михайлов. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2013. – 129 с.

УДК 629.4.023

Х. Р. Косимов
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАМЫ ТЕПЛОВОЗА UZTE16M

Безопасная эксплуатация транспортного средства определяется остаточной прочностью деталей, узлов и конструкций. Статья посвящена моделированию и анализу напряженно-деформированного состояния рамы тепловоза. Определены наибольшие напряжения в сечениях рамы тепловоза типа UzTE16M.

подвижной состав, рама тепловоза, срок службы, несущие конструкции, прочность.

Введение

В связи с увеличением скоростей движения на железнодорожном транспорте, а также массы поездов (грузонапряженности) возрастают нагрузки на элементы экипажной части локомотивов, в том числе на рамы тепловозов. Структура элементов металлоконструкции механической части железнодорожного подвижного состава сложна. Эти элементы представляют собой ряд пространственных конструкций с большим количеством разнообразных по конфигурации соединений и концентраторов напряжений, воспринимающих широкой спектр эксплуатационных нагрузок. Их размеры и форма определяются усилиями, деформациями и напряжениями в них, а также другими характеристиками состояния, которые формируются под действием нагрузок различного вида и характера, определяемых параметрами, назначением и условиями

эксплуатации подвижного состава. В зависимости от этих показателей данные элементы рассчитываются на прочность и жесткость при статических и динамических нагрузках [1]. Необходимые несущая способность и надежность конструкции должны обеспечиваться при возможно меньшей массе. Расчетная модель должна достаточно полно отражать и учитывать фактический спектр эксплуатационных нагрузок, строиться и решаться с учетом сочетания технических, экономических и других требований. Одна из особенностей рам тепловоза – работа при переменных напряжениях, в связи с чем они должны рассчитываться на усталостную прочность. Доминирующей формой расчета является проверочный расчет, связанный с определением коэффициента запаса прочности. Для таких расчетов необходимо располагать значениями действующих статических и динамических напряжений. Статическое напряжение определяется для всех основных нагрузок: массы кузова с установленным оборудованием, тяговых и тормозных усилий, усилий при вписывании в кривые [2]. Основным направлением совершенствования расчетных методов оценки ресурса несущих конструкций является более достоверный учет их нагруженности и особенности поведения материала в локальных, наиболее напряженных зонах упругопластической области. Конструкция рамы тепловоза сварная. Основу рамы образуют две хребтовые двутавровые балки и усиливающие накладки, изготовленные из стали Ст3 сп, а остальные детали рамы – из стали Ст3 кп. Все детали и узлы рамы соединены между собой сваркой. Топливный бак обычно подвешен к раме на болтах. С каждой стороны рамы к боковым кронштейнам приварены ящики для аккумуляторных батарей. Опоры рамы обычно представляют собой сферические пяты с каждой стороны рамы. Они опираются на сферические подпятники с роликовыми возвращающими устройствами, укрепленными на раме тележки. Тяговое усилие передается от тележки к раме через центральные шкворни, вокруг которых поворачиваются тележки в кривых участках пути, отверстия и посадочные места под дизель-генератор и оборудование тепловоза.

Расположение хребтовых балок над тележками тепловоза сопряжено с ограниченными возможностями развития их высоты (до 500 мм) и появлением значительных эксцентриситетов при приложении продольных тяговых усилий (350–500 мм). Чтобы преодолеть эти трудности, создаются проекты рам с боковыми продольными элементами большой строительной высоты [2].

Отказы сварных деталей тепловозов в эксплуатации чаще всего обусловлены хрупкими разрушениями, которые берут свое начало от развивающихся усталостных трещин. При этом долговечность деталей определяется, главным образом, случайным характером появления дефектов в наиболее нагруженных зонах. Как установлено в ходе исследований [2], усталостное разрушение несущих конструкций происходит в результате развития микропластических деформаций, перерастания их в трещину и распространения этой трещины. Можно отметить, что усталостное разрушение металла происходит при определенной интенсивности микропластических деформаций, уровень которой зависит от степени однородности структуры материала, а также его характеристик прочности и пластичности. В силу этого к несущим конструкциями подвижного состава предъявляются высокие требования как при их создании, так и при эксплуатации и модернизации.

В целях продления срока службы наиболее нагруженные части металлоконструкций необходимо усиливать. В связи с этим расчет и оценка остаточного ресурса и модернизации приобрели большую практическую значимость.

1 Схема нагружения рамы тепловоза

Прочностные и весовые показатели рам тепловоза определяются конструктивными и технологическими факторами. Это, прежде всего, принципиальная схема тепловоза,

определяющая систему сил, действующих на раму, конструктивное исполнение основных несущих элементов рамы и узлов соединения этих элементов друг с другом, а также допустимый уровень концентрации напряжений.

Расчетная схема рамы принята в виде консольно-балочной системы на четерех опорах в местах опирания на шаровые опоры тележек.

Основные геометрические размеры рамы тепловоза ТЭ10 М [3]:

• расстояние между осями шкворней 16 969 мм;

• длина 15 940 мм;

• расстояние между осями шкворневых опор тележки 1850 мм.

Загружение рамы выполнено по данном развески тепловоза (табл. 1) сосредоточенны-

ТАБЛИЦА 1. Развеска тепловоза UzTE16M (ось Z проходит через переднюю автосцепку)

Узел	Масса, кг	Плечо, мм	Момент, кг·мм
Дизель			
Рама дизеля	P_1	L_1	$P_1 \cdot L_1$
Блок цлиндров	P_2	L_2	$P_2 \cdot L_2$
Комплект втулок	P_3	L_3	$P_3 \cdot L_3$
Комплект поршней	P_4	L_4	$P_4 \cdot L_4$
Коленчатый вал	P_5	L_5	$P_5 \cdot L_5$
Турбокомпрессор	P_6	L_6	$P_6 \cdot L_6$
Приводной нагнетатель	P_7	L_7	$P_7 \cdot L_7$
Масляный насос	P_8	L_8	$P_8 \cdot L_8$
Водяной насос охлаждения дизеля	P_9	L_9	$P_9 \cdot L_9$
Водяной насос холодного контура	P_{10}	L_{10}	$P_{10} \cdot L_{10}$
Регулятор	P_{11}	L_{11}	$P_{11} \cdot L_{11}$
Неучтенная масса	P_{12}	L_{12}	$P_{12} \cdot L_{12}$
Генератор ГП311 Б	P_{13}	L_{13}	$P_{13} \cdot L_{13}$
Муфта	P_{14}	L_{14}	$P_{14} \cdot L_{14}$
Двухмашинный агрегат	P_{15}	L_{15}	$P_{15} \cdot L_{15}$
Компрессор КТ7	P_{16}	L_{16}	$P_{16} \cdot L_{16}$
Рама тепловоза	P_{17}	L_{17}	$P_{17} \cdot L_{17}$
Фильтр грубой очистка масла	P_{18}	L_{18}	$P_{18} \cdot L_{18}$
Задний редуктор	P_{19}	L_{19}	$P_{19} \cdot L_{19}$
Карданные валы	P_{20}	L_{20}	$P_{20} \cdot L_{20}$
Передний редуктор	P_{21}	L_{21}	$P_{21} \cdot L_{21}$
Вентилятор передней тележки	P_{22}	L_{22}	$P_{22} \cdot L_{22}$

Окончание табл. 1

Узел	Масса, кг	Плечо, мм	Момент, кг·мм
Вентилятор задней тележки	P_{23}	L_{23}	$P_{23} \cdot L_{23}$
Вентилятор тягового генератора	P_{24}	L_{24}	$P_{24} \cdot L_{24}$
Топливный бак	P_{25}	L_{25}	$P_{25} \cdot L_{25}$
Водяной бак	P_{26}	L_{26}	$P_{26} \cdot L_{26}$
Теплообменник	P_{27}	L_{27}	$P_{27} \cdot L_{27}$
Воздухоочиститель	P_{28}	L_{28}	$P_{28} \cdot L_{28}$
Сцепное устройство переднее	P_{29}	L_{29}	$P_{29} \cdot L_{29}$
Сцепное устройство заднее	P_{30}	L_{30}	$P_{30} \cdot L_{30}$
Холодильник			
Камера холодильника	P_{31}	L_{31}	$P_{31} \cdot L_{31}$
Секции холодильные нормальные	P_{32}	L_{32}	$P_{32} \cdot L_{32}$
Секции холодильника укороченные	P_{33}	L_{33}	$P_{33} \cdot L_{33}$
Вентилятор	P_{34}	L_{34}	$P_{34} \cdot L_{34}$
Кабина	P_{35}	L_{35}	$P_{35} \cdot L_{35}$
Кузов над двигателем с обшивкой	P_{36}	L_{36}	$P_{36} \cdot L_{36}$
Аккумляторная батарея	P_{37}	L_{37}	$P_{37} \cdot L_{37}$
Камеры высоковольтные	P_{38}	L_{38}	$P_{38} \cdot L_{38}$
Неучтенная масса тепловоза	P_{39}	L_{39}	$P_{39} \cdot L_{39}$

ми силами и распределенными нагрузками, которые сгруппированны в зависимости от их расположения (табл. 2).

Расположение действующих сил на раму и расчетная схема загрузки приведены на рис. 1.

Положение центра тяжести над тележечным строением относительно условной оси тепловоза определяем по формуле

$$X = \frac{\sum M}{\sum P},$$

где ΣP – приведенные сосредоточенные силы.

Часть приведенных в табл. 2 сосредоточенных сил в расчетной схеме

$$\Sigma P = R_1 + R_{17} + R_2 + R_{15} + R_3 + R_4 + R_{29} + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_{34}$$

$$\Sigma M_0 = -R_1 \cdot P_1 - R_{17} \cdot P_2 - R_2 \cdot P_3 - R_{15} \cdot P_4 - R_3 \cdot P_5 - R_4 \cdot P_6 - R_{29} \cdot P_7 - R_4 \cdot P_8 - R_5 \cdot P_9 - R_6 \cdot P_{10} - R_7 \cdot P_{11} - R_8 \cdot P_{12} - R_{34} \cdot P_1,$$

тогда $X = \frac{\Sigma M_0}{\Sigma P}$.

Для приведения суммарной массы к середине тепловоза справа от условной оси на расстоянии подвешивания 6,51 м укладываем балласт весом 770 кг, тогда $\Sigma P = 90\,300$ кг.

Реакции в шаровых опорах будут одинаковыми, что обусловливается сбалансированным рессорным подвешиванием, и составят $P_1 = P_2 = P_3 = P_4$, кг.

ТАБЛИЦА 2. Приведенные сосредоточенные силы

Обозначение	Вес, кН	Плечи относительно условной оси, м	Плечи относительно концов рамы, м	Сумма сил в узле (по табл. 1)
R_1	24,53	7,15	0,82	P_{29}, P_{35}
R_{15}	6,60	5,73	2,24	P_{15}
R_2	25,00	4,75	3,22	$P_{16}, P_{21}, P_{22}, P_{24}, P_{38}$
R_{13}	89,00	2,96	5,01	P_{13}
R_3	9,50	2,26	5,71	P_7, P_{14}
R_{25}	20,00	0,085	7,88	P_{25}
R_4	404,73	0,0	7,97	P_{17}, P_{37}, P_{39}
R_5	204,42	0,012	7,96	$P_3, P_4, P_5, P_2, P_{12}, P_{28}, P_{36}$
R_6	23,44	–2,27	5,70	$P_1, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}$
R_7	15,65	–4,0	3,97	$P_{19}, P_{20}, P_{23}, P_{26}, P_{27}$
R_8	66,81	–6,51	1,46	$P_{18}, P_{31}, P_{32}, P_{33}, P_{34}$
R_{30}	11,35	–7,51	0,64	P_{30}

Часть приведенных в табл. 2 сосредоточенных сил для более точного построения эпюры изгибающих моментов, учитывая характер их приложения к раме, заменяем распределенными нагрузками: собственную массу рамы P_{17}, кг, и неучтеную массу тепловоза P_{39}, кг, распределяем на длине всей рамы L = м:

$$q_1 = \frac{P_{17} + P_{39}}{L},$$

тогда величина равнодействующей R_4 уменьшится и составит

$$R_4 = R_0 - R.$$

Собственная масса рамы P_1 дизеля распределяется по длине $L_{\text{РД}}$:

$$q_2 = \frac{P_1}{L_{\text{РД}}}.$$

Вес деталей дизеля и другие силы, входящие в силу R_3, распределяем по длине части рамы дизеля [4] $L_{\text{РД}}$

$$q_3 = \frac{R_5}{L_{\text{РД}}}.$$

Масса топливного бака P_{25} на длине между его креплениями к раме тепловоза $L_{\text{РД}}$

$$q_4 = \frac{P_{25}}{L_{\text{РД}}}.$$

В связи с тем, что геометрические формы данных деталей весьма сложны, а габариты значительны, стендовые испытания реальных конструкций становятся металло- и трудоемкими и дорогостоящими. На сегодня разработаны программы, с помощью которых можно сделать многовариантный анализ расчетов с учетом всех нагрузок для получения достаточно точных результатов.

Большой вклад в разработку методик исследований в этой области внесли сотрудники ВНИИЖИТ и ВНИТИ [5].

В большинстве расчетов рама кузова тепловоза принималась в виде стержневой системы. Как показала практика, в зонах сопряжения балок рамы, в местах присоединения крон-

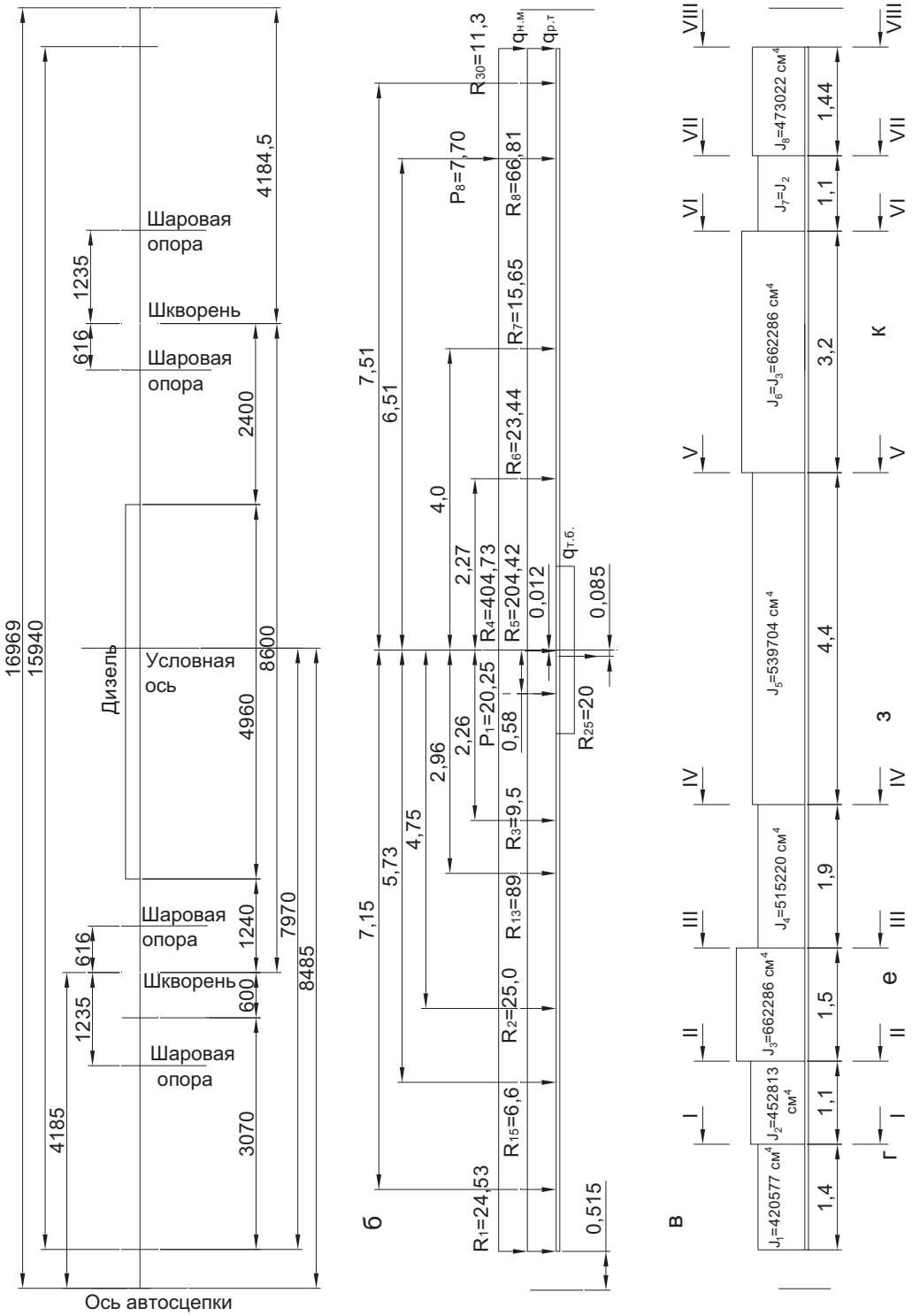


Рис. 1. Расчетная схема нагрузок, действующих на раму:
а) геометрические параметры главной рамы тепловоза UzTE16M; б) расчетная схема нагрузок, действующих на раму;
в) эпюра моментов инерции поперечных сечений

штейнов, накладок и в других узлах сложной формы определить напряжения с помощью стержневой схемы нельзя [4]. В связи с этим целесообразно применение современных программ и методов расчета, в первую очередь, метода конечных элементов (МКЭ). МКЭ считается одним из наиболее эффективных способов решения задач механически деформируемого твердого тела, накоплен положительный опыт его применения в различных областях машиностроения. В настоящее время МКЭ является мощным численным методом, применимым к различным физическим задачам, при этом наибольшее распространение он получил в решениях задач теории упругости и в анализе несущей способности конструкций, его можно назвать одним из основных методов анализа напряженно-деформированного состояния конструкций. Применение этих методов позволит повысить точность расчетов и определить напряжения в элементах сложной формы, в первую очередь, в узлах соединения балок и в зонах присоединения отдельных деталей к несущим элементам.

2 Моделирование напряженно-деформированного состояния рамы кузова

Конечно-элементные модели главных рам, кабин и кузовов тепловозов позволяют не только выполнить прочностной статический расчет конкретного варианта конструкции, но и найти способ модернизации этих конструкций. Цель модернизации – оптимизация параметров модернизированных узлов при сохранении их габаритных характеристик. На первом этапе моделирования после построения конечно-элементной модели производится статический расчет конструкции рамы тепловоза.

Для анализа напряженно-деформированного состояния применялся МКЭ, реализованный в программном комплексе SolidWorks Simulation, в редакторе которого и создавалась расчетная модель. Программа ориентирована на подготовку полноценной конечно-элементной модели с максимальными возможностями с учетом особенностей геометрического, силового характера и различных видов расчетов. Расчетная модель рамы кузова и приведена на рис. 2.

При статическом расчете в качестве нагрузки принята сила $R = 120$ кН, воздействующая на каждую опору через резинометалические элементы. Разделение расчетной схемы на конечные элементы и расчет напряжений осуществлялись на ЭВМ. Анализ результатов соответствовал требованиям отраслевых норм прочности (табл. 3).

Расчет силовых факторов, действующих на раму, производился согласно [5]. При генерации сетки конечно-элементной идеализации объекта исследования использовались объемные конечные элементы в виде тетраэдра. Идеализированный вариант рамы тепловоза по МКЭ приведен на рис. 3. Модель состоит из 46 155 элементов и 90 893 узлов.

Результаты расчета величины напряжений в раме тепловоза при статическом нагружении представлены на рис. 4.

Напряжения не превышают норм [5], коэффициент запаса прочности по результатам расчетов на ЭВМ $n = 2{,}3$, что соответствует требованиям.

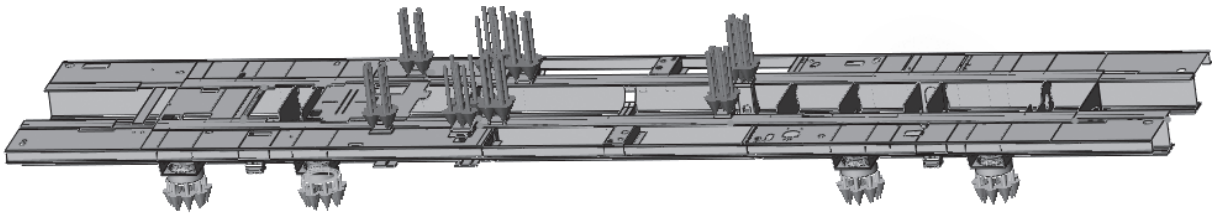


Рис. 2. Расчетная рама кузова тепловоза UzTE16M

ТАБЛИЦА 3. Иследования данные для расчета напряжений рам тепловоза

Элемент	Материал	Допустимое напряжение, МПа
Шкворень рамы тепловоза	Сталь 20 Л	140
Остальная часть рамы тепловоза	Сталь 3 сп	150

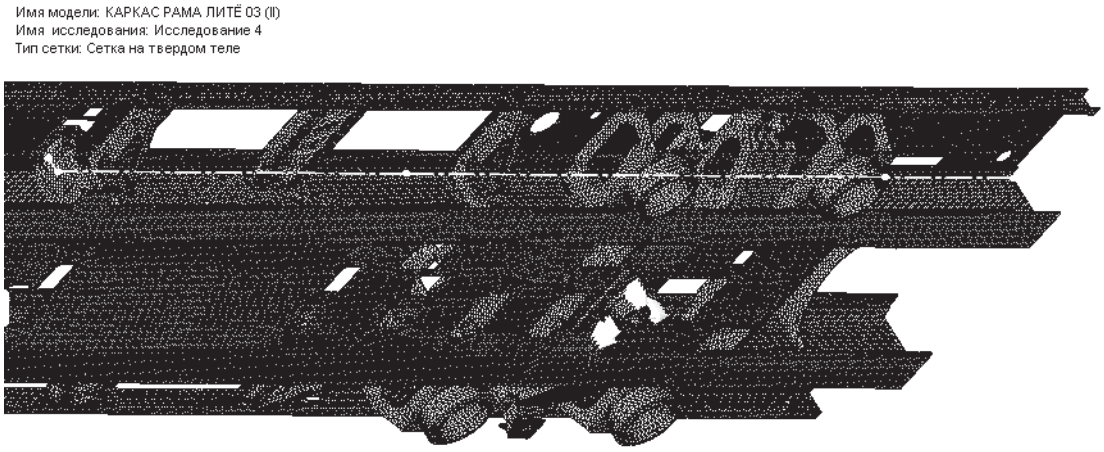


Рис. 3. Идеализированный вариант рамы кузова тепловоза

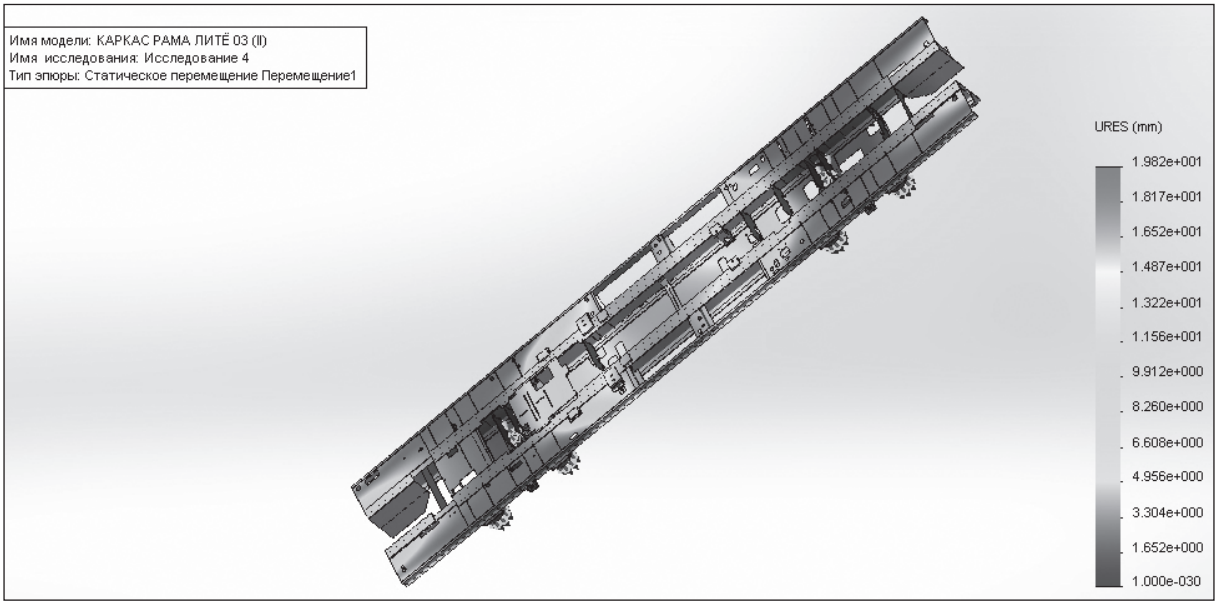


Рис. 4. Расчетная величина напряжений в раме кузова тепловоза при статическом нагружении

Заключение

С помощью программного обеспечения была построена конечно-элементная модель рамы кузова тепловоза, которая позволяет определять и анализировать перемещения, напряжения и деформации, рассчитываемые в данной конструкции. Рассмотренная расчетная модель рама кузова тепловоза типа UzTE16M позволяет исследовать их напряженно-деформированное состояние, дать оценку возможным изменениям при их модернизации, определить эффективные способы усиления при ремонте. При сравнении данных статического расчета с требованиями [5] можно сделать вывод, что расчетная схема была выбрана правильно. На следующем этапе производится динамической расчет, по результатам которого можно судить о долговечности конструкции.

Библиографический список

1. **Оценка** остаточного ресурса рам тележек тепловозов : дис. … канд. техн. наук / Н. С. Зайниддинов. – Санкт-Петербург, 2010. – 169 с.

2. **Повышение** надежности экипажной части тепловозов / А. И. Беляев, Б. Б. Бунин, С. М. Голубятников и др. ; под ред. Л. К. Добрынина. – Москва : Транспорт, 1984. – 248 с.

3. **Теория** и конструкция локомотивов / В. А. Симонов ; под ред. Г. С. Михальченко. – Москва : Маршрут, 2006. – 584 с.

4. **Тепловоз 2 ТЭ116 /** С. П. Филонов, А. И. Гибалов. – Москва, 1985. – 328 с.

5. **Нормы** для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. – Москва : ВНИИЖТ, 1998. – 145 с.

УДК 656.2

В. А. Кудрявцев, А. А. Светашев
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

ПРОЦЕСС НАКОПЛЕНИЯ ВАГОНОВ НА СОСТАВЫ ПОЕЗДОВ

Для расчета плана формирования поездов по направлениям необходим параметр «среднесуточные затраты вагоно-часов на накопление». В статье приведен детальный анализ процесса накопления вагонов на состав поезда в сортировочном парке станции на основе усредненного графика накопления вагонов. Предложены новые формулы для определения среднесуточных затрат вагоно-часов на накопление. Приведен расчет и определены среднестатистические значения исследуемых величин. Показано, что нормирование параметра накопления должно быть основано на результатах обработки статистических данных.

параметр накопления вагонов, средняя величина остатка, замыкающая группа, поступающая группа, группа вагонов, период накопления, затраты вагоно-часов.

Введение

На сортировочных станциях выполняется массовое расформирование и формирование поездов. Простой вагонов под накоплением составов является существенной частью основного качественного показателя работы сортировочной станции – простоя транзит-

ного вагона с переработкой. Помимо этого, среднесуточные затраты вагоно-часов на накопление по каждому поездному назначению являются важным параметром при расчете плана формирования поездов, поэтому их точное определение играет важную роль в эксплуатационной работе железных дорог.

1 Анализ процесса накопления

В эксплуатационной науке сложился упрощенный подход к рассмотрению структуры процесса накопления, при котором этот процесс рассматривался в двух вариантах: непрерывном, когда после накопления каждого поезда до нормы состава m вагонов возникал переходящий в следующее накопление остаток вагонов (рис. 1а), и прерывном, когда такого остатка не возникало (рис. 1б). Для непрерывного процесса суточные затраты вагоно-часов на накопление одного назначения было легко подсчитать по выражению $B = 12\ m$, где m – среднее число вагонов в формируемых составах (независимо от числа формируемых поездов). Для прерывного процесса эти затраты должны быть меньше за счет перерывов в накоплении в зависимости от их продолжительности. Поэтому для реального процесса накопления (рис. 1в), при котором имеют место случаи как непрерывного, так и прерывного накопления, считалось, что величина $12m$ снижается в зависимости от числа и продолжительности перерывов. При этом среднесуточные затраты вагоно-часов накопления на одно назначение получают выражение $B = cm$, где величина c (параметр накопления) является важной характеристикой процесса и определяет затраты на накопление в зависимости от средней величины формируемых составов m. Рекомендуемое значение параметра c для проведения эксплуатационных расчетов находится в диапазоне 8–1,15 в зависимости от конкретных условий работы станции.

Однако в реальных процессах накопления всегда имеются остатки вагонов (частично

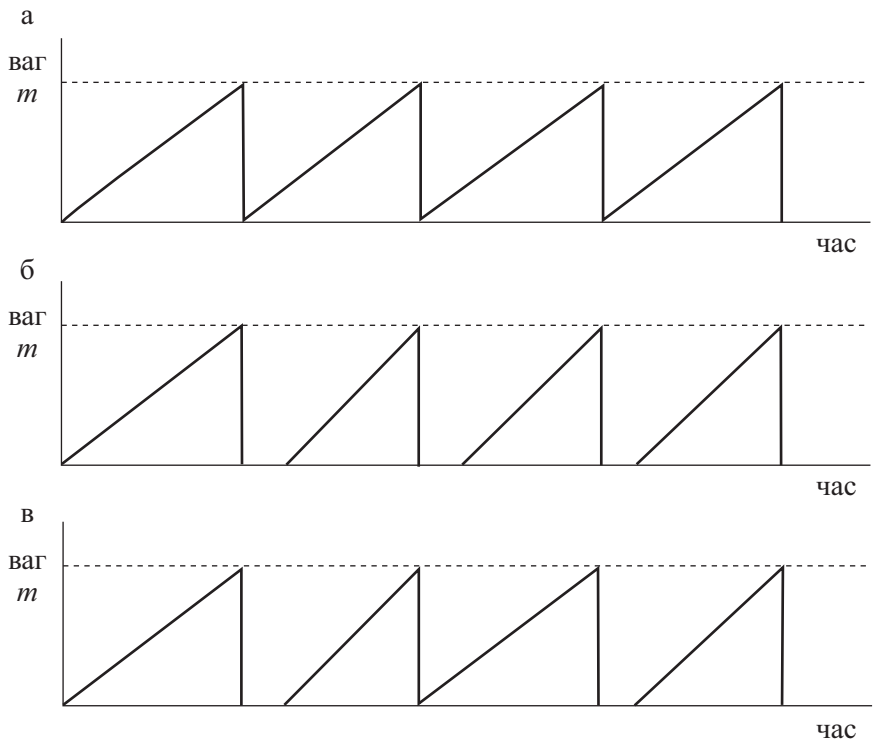


Рис. 1. Схемы накопления вагонов на составы поездов: а) непрерывное; б) прерывное; в) частично прерывное; m – средняя величина накапливаемых составов, ваг.

прерывный процесс). При использовании понятия «средний остаток» (суммарный остаток, распределенный по всей продолжительности суток) можно считать процесс накопления чисто непрерывным, при этом конкретная величина параметра накопления зависит от величины среднего остатка вагонов: чем меньше средний остаток, тем меньше параметр накопления. При величине среднего остатка, равной нулю (что практически нереально), процесс накопления будет полностью прерывным, а параметр накопления будет иметь значение теоретического минимума. Среднесуточную величину остатка нетрудно подсчитать по статистическим данным:

$$m_{\text{о}} = \frac{\sum n t_{\text{о}}}{24 K_{\text{сут}}},$$

где $\sum n t_{\text{о}}$ – затраты вагоно-часов накопления остатков, в-ч; $K_{\text{сут}}$ – число суток периода наблюдений.

Обращает на себя внимание тот факт, что до последнего времени в исследованиях процесса накопления игнорировался остаток вагонов после накопления состава как фактор, влияющий на затраты вагоно-часов под накоплением. Впервые этот вопрос был поставлен в [1], где на основе анализа процесса накопления с учетом этого фактора предложена формула для определения среднесуточных затрат вагоно-часов накопления вагонов отдельного назначения. Однако дальнейшие исследования показали, что требуется более детализированный анализ этого процесса и уточнение предложенной формулы.

Рассмотрим подробный усредненный график накопления состава на пути сортировочного парка (рис. 2).

В процессе расформирования прибывающих на станцию поездов на путь накопления поступают группы вагонов соответствующего назначения со средним интервалом *i*, ч. По характеру воздействия на процесс накопления эти группы можно разделить на два вида: промежуточные ($m_{\text{гр}}$, ваг.), которые имеют простой под накоплением, и замыкающие ($m_{\text{з}}$,

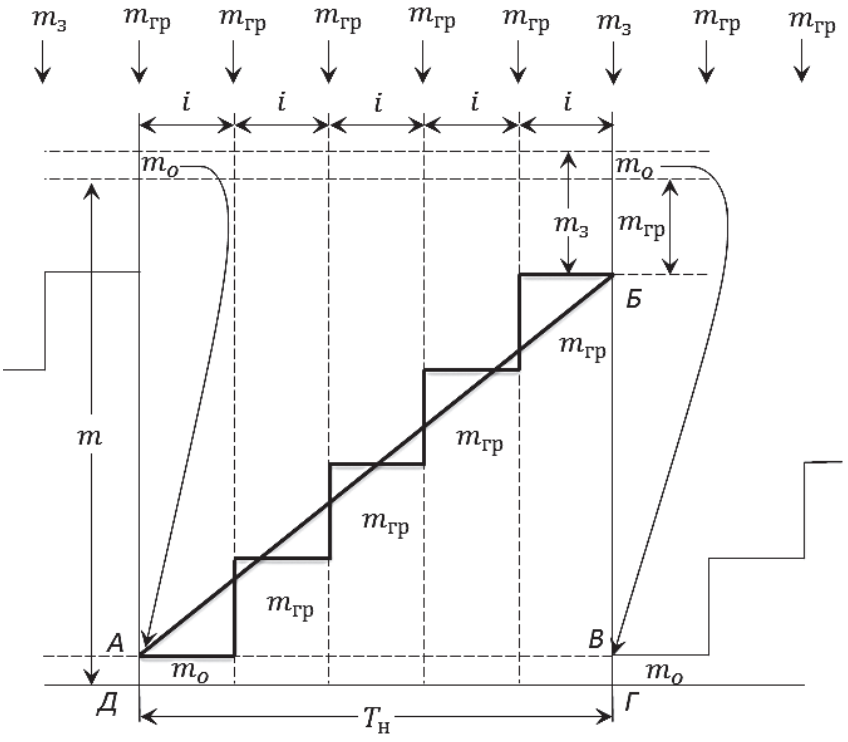


Рис. 2. График накопления вагонов на состав поезда

ваг.), которые завершают процесс накопления состава, пополняя его до средней величины (по усредненной схеме) или до нормы, и являются источником среднего остатка вагонов, который участвует в накоплении следующего состава, поэтому средняя величина замыкающей группы больше, чем средняя величина промежуточной группы на среднюю величину остатка:

$$m_{з} = m_{гр} + m_{о}, \text{ ваг.}$$

Это соответствует здравому смыслу, поскольку чем больше величина поступающей группы, тем больше вероятность, что она станет замыкающей.

Таким образом, при анализе процесса накопления следует рассматривать два образующих его параметра: $m_{гр}$ и $m_{о}$. При этом в качестве заданных величин выступают параметры:

$u_{н}$ – среднесуточная величина рассматриваемого поездного назначения, ваг.;

m – норма величина состава формируемых поездов, ваг;

$N_{п}$ – среднесуточное число групп вагонов, поступающих на путь накопления.

Используя значения приведенных параметров, можно рассчитать остальные параметры, характеризующие процесс накопления составов данного назначения:

$N_{ф} = \frac{u_{н}}{N_{п}}$ – среднесуточное число формируемых поездов;

$T_{н} = \frac{24}{N_{ф}}$ – средняя величина периода накопления, час;

$i = \frac{24}{N_{п}}$ – средний интервал между поступлением групп вагонов на путь накопления, час;

$n = \frac{N_{п}}{N_{ф}} = \frac{T_{н}}{i}$ – среднее число групп вагонов, участвующих в накоплении одного состава;

$m'_{гр} = \frac{u_{н}}{N_{п}} = \frac{m}{n}$ – среднее число вагонов в поступающей группе без учета разделения их на промежуточные и замыкающие, назовем её среднепоточной;

$m_{гр} = \frac{m - m_{о}}{n}$ – среднее число вагонов в промежуточной группе. Отсюда

$$m = nm_{гр} + m_{о}.$$

Период накопления состава $T_{н}$ включает n интервалов между поступлением групп вагонов. В течение первого интервала простаивает только остаток от замыкающей группы предыдущего накопления $m_{о}$. В каждый из последующих интервалов добавляется группа вагонов $m_{гр}$. Число таких групп будет каждое равно n, но простой под накоплением будет иметь только $(n – 1)$ групп, поскольку часть вагонов замыкающей группы $m_{гр} = m_{з} – m_{о}$, идущая на завершение накопления, не имеет простоя под накоплением. С учетом высказанных положений можно определить среднесуточные затраты вагоно-часов на накопление всех составов отдельного поездного назначения. Из графика на рис. 2 видно, что вагоно-часы накопления одного состава образуются из двух источников: накопления промежуточных групп вагонов $m_{гр}$ и простоя среднего остатка вагонов $m_{о}$. Вагоно-часы накопления промежуточных групп соответствуют площади ступенчатой фигуры, а накопление остатка – площади прямоугольника АВГД.

Площадь ступенчатой фигуры при условии равенства промежуточных групп и равенства интервалов их поступления точно равна площади треугольника АБВ, высота которого равна $(n – 1)m_{гр}$ ваг., а сумма оснований всех треугольников за сутки составляет 24 ч. Высота прямоугольника АВГД составляет $m_{о}$, ваг., а суммарная длинна всех оснований за сутки – 24 ч. Тогда среднесуточные затраты вагоно-часов на накопление всех составов отдельного назначения составят

$$B = \frac{1}{2} \cdot 24(n-1)m_{\text{гр}} + 24m_{\text{о}} = 12(m - m_{\text{гр}} + m_{\text{о}}).$$

Таким образом, функция среднесуточных затрат вагоно-часов на накопление составов отдельного назначения зависит только от трех аргументов: средней величины состава m, ваг.; средней величины промежуточной группы вагонов, поступающих на путь накопления, $m_{\text{гр}}$, ваг.; средней величины переходящего остатка вагонов между накоплением отдельных составов $m_{\text{о}}$, ваг. Параметр $m_{\text{гр}}$ характеризует входящий поток вагонов в систему составообразования, параметр m – выходящий поток, параметр $m_{\text{о}}$ – процесс накопления. Так, при $m_{\text{о}} > m_{\text{гр}}$ $B > 12\ m$; при $m_{\text{о}} < m_{\text{гр}}$ $B < 12\ m$; при $m_{\text{о}} = m_{\text{гр}}$ $B = 12\ m$.

2 Результаты обработки статистических данных

Поскольку до сих пор роль остатка вагонов $m_{\text{о}}$ во всех действующих методиках игнорируется, имеет смысл определить характер этой величины. Все три параметра нетрудно установить статистическим путем для каждого конкретного назначения любой сортировочной станции. В предыдущих статистических исследованиях [2] установлено, что средняя величина остатка $m_{\text{о}}$ приближается к значению среднепоточной группы $m'_{\text{гр}}$, а средняя величина замыкающей группы $m_{\text{з}}$ – к двойному значению $m'_{\text{гр}}$. Имеет смысл рассмотреть, как значения $m_{\text{о}}$ и $m_{\text{з}}$ соотносятся с величиной промежуточной группы $m_{\text{гр}}$.

С этой целью проведены массовые статистические исследования по данным 14 конкретных назначений разных сортировочных станций с величиной среднесуточного вагонопотока в диапазоне от 93 до 305 вагонов за период 30 суток. По каждому назначению был составлен статистический ряд реальных значений групп вагонов, поступающих на путь накопления. Каждый такой ряд послужил основой для моделирования составообразования по шести вариантам разных значений твердой нормы формируемых составов.

По результатам моделирования составлены статистические ряды значений числа вагонов, накопленных за период накопления состава, замыкающих групп и переходящего остатка вагонов. Всего получено 70 статистических рядов, каждый из которых определяется парой значений среднесуточной величины вагонопотока назначений (u) и нормы числа вагонов в формируемых составах (m). По каждому статистическому ряду определены среднестатистические значения $m_{\text{гр}}$ и $m_{\text{о}}$. По этим данным получены значения соотношений $\frac{m_{\text{о}}}{m'_{\text{гр}}}$ и $\frac{m_{\text{о}}}{m_{\text{гр}}}$. Значение $m_{\text{гр}}$ определялось для каждого статистического ряда по его среднестатистическим данным по выражению $m_{\text{гр}} = \frac{m - m_{\text{о}}}{n}$. Результаты расчетов приведены в таблице.

Итоговые данные таблицы показывают, что среднее значение остатка вагонов действительно приближается к среднему значению $m'_{\text{гр}}$ ($\frac{m_{\text{о}}}{m'_{\text{гр}}} = 0,9$), что подтверждает результаты предыдущих исследований. В то же время значение остатка вагонов практически точно равно среднему значению $m_{\text{гр}}$ ($\frac{m_{\text{о}}}{m_{\text{гр}}} = 1,0$). Однако нельзя исключать и того, что параметры отдельных назначений могут не соответствовать этим соотношениям. Поэтому при использовании параметра накопления $c = \frac{B}{m}$ как постоянной величины для всех назначений сортировочных станций (например, при расчете плана формирования поездов) целесообразно использовать значение c = 12 (B = 12 m). При рассмотрении процесса накопления по отдельному назначению необходимо статистическим путем определять значения параметров m, $m_{\text{гр}}$ и $m_{\text{о}}$.

Результаты обработки статистических данных

u	m_c	$m_o = m_н - m$	$m'_{гр}$	$\frac{m_o^c}{m_{гр}^c}$	$\frac{m_o}{m'_{гр}}$	u	m_c	$m_o = m_н - m$	$m'_{гр}$	$\frac{m_o^c}{m_{гр}^{\tilde{n}}}$	$\frac{m_o}{m'_{гр}}$
93	50	4,29	6,39	0,68	0,67	165	50	7,83	6,83	1,14	1,15
	60	4,93	6,39	0,76	0,77		60	5,76	6,83	0,84	0,84
	70	5,66	6,39	0,89	0,89		70	6,03	6,83	0,87	0,88
	80	5,33	6,39	0,76	0,83		80	7,02	6,83	0,98	1,03
	90	5,50	6,39	1,00	0,86		90	6,20	6,83	0,98	0,91
	100	5,26	6,39	0,81	0,82		100	8,18	6,83	1,22	1,20
104	50	4,36	4,32	1,00	1,01	175	50	7,18	7,15	1,02	1,00
	60	5,84	4,32	1,31	1,35		60	7,24	7,15	0,98	1,01
	70	5,38	4,32	1,25	1,25		70	7,24	7,15	1,01	1,01
	80	6,03	4,32	1,35	1,40		80	8,43	7,15	1,14	1,18
	90	4,60	4,32	1,19	1,06		90	6,09	7,15	0,85	0,85
	100	5,48	4,32	1,21	1,27		100	6,60	7,15	0,96	0,92
114	50	6,69	6,89	1,00	1,00	185	50	7,01	7,64	0,91	0,92
	60	9,29	6,89	1,02	1,35		60	6,39	7,64	0,82	0,84
	70	7,66	6,89	1,13	1,11		70	6,71	7,64	0,90	0,88
	80	6,24	6,89	0,93	0,91		80	6,20	7,64	0,83	0,81
	90	6,42	6,89	1,05	0,93		90	5,30	7,64	0,66	0,69
	100	7,77	6,89	1,13	1,13		100	6,61	7,64	0,86	0,86
122	50	5,00	5,04	1,10	1,00	195	50	7,47	7,93	0,93	0,94
	60	4,55	5,04	0,89	0,90		60	6,08	7,93	0,75	0,77
	70	3,71	5,04	0,77	0,74		70	6,76	7,93	0,83	0,85
	80	4,54	5,04	0,88	0,90		80	6,38	7,93	0,81	0,80
	90	5,22	5,04	1,20	1,04		90	4,98	7,93	0,64	0,63
	100	4,34	5,04	1,02	0,86		100	7,39	7,93	0,92	0,93
134	50	4,96	6,80	0,74	0,73	205	50	9,45	11,65	0,83	0,81
	60	4,73	6,80	0,70	0,70		60	9,76	11,65	0,83	0,84
	70	5,81	6,80	0,92	0,85		70	9,54	11,65	0,80	0,82
	80	3,93	6,80	0,61	0,58		80	7,90	11,65	0,71	0,68
	90	5,68	6,80	0,82	0,84		90	8,61	11,65	0,74	0,74
	100	4,36	6,80	0,70	0,64		100	10,49	11,65	0,87	0,90

Окончание табл.

145	50	6,50	7,03	0,93	0,92	255	50	9,69	11,85	0,82	0,82
	60	6,19	7,03	0,84	0,88		60	9,82	11,85	0,82	0,83
	70	6,89	7,03	1,03	0,98		70	10,45	11,85	0,88	0,88
	80	5,74	7,03	0,80	0,82		80	9,67	11,85	0,82	0,82
	90	6,43	7,03	0,94	0,91		90	9,09	11,85	0,74	0,77
	100	6,54	7,03	0,90	0,93		100	9,55	11,85	0,83	0,81
155	50	6,18	7,19	0,86	0,86	305	50	8,17	11,33	0,72	0,72
	60	5,58	7,19	0,76	0,78		60	8,78	11,33	0,76	0,77
	70	6,39	7,19	0,86	0,89		70	9,94	11,33	0,86	0,88
	80	6,65	7,19	0,88	0,92		80	8,85	11,33	0,76	0,78
	90	6,26	7,19	0,85	0,87		90	9,10	11,33	0,80	0,80
	100	6,14	7,19	0,90	0,85		100	8,34	11,33	0,74	0,74
Итоговое среднее значение										1,00	0,90

Заключение

В официальных методиках рекомендуется принимать значение параметра накопления в диапазоне от 8,0 до 11,5 в зависимости от типа станции, числа формируемых назначений, категории формируемых поездов и состояния включаемых в них вагонов (груженых, порожних). В действительности снизить значение параметра накопления можно только оперативным воздействием на его параметры m, $m_{гр}$, $m_{о}$. К этим мерам можно отнести формирование поездов с величиной состава, превосходящей установленную норму с целью снижения среднего остатка вагонов, ускорение продвижения поездов, имеющих замыкающие группы вагонов; ускорение обработки этих групп на станции для сокращения простоя вагонов под накоплением; планирование величины замыкающих групп (из местных вагонов) для снижения остатка; подвод крупных групп к концу периода накопления и др. Однако применение этих мер на крупных сортировочных станциях, которые работают по принципу конвейера переработки вагонов, существенно затруднено, поэтому нормирование параметра накопления должно быть основано на результатах обработки статистических данных.

Библиографический список

1. **Новый** подход к расчету затрат вагоно-часов на накопление / В. А. Кудрявцев, Я. В. Кукушкина, Ш. М. Суюнбаев // Изв. Петербург. ун-та путей сообщения. – 2010. – Вып. 1 (22). – С. 5–10.

2. **Эксплуатационная** работа железных дорог (состояние, проблемы, перспективы) / Е. А. Сотников. – Москва : Транспорт, 1986. – 256 с.

УДК 629.432

М. Ю. Розов
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

М. Н. Закс
ОАО «НИИ вагоностроения»

ОЦЕНКА КОНСТРУКЦИИ КОНСОЛЬНОЙ ЧАСТИ РАМЫ КУЗОВА ВАГОНА МЕТРОПОЛИТЕНА 81 СЕРИИ

В статье даны обзор и анализ существующих конструкций кузовов вагонов Петербургского метрополитена. Рассматриваются текущее состояние кузовов вагонов метрополитена и мероприятия, направленные на увеличение срока их службы. Описана методика прочностного расчета рамы кузова вагона с применением метода конечных элементов. Приведены результаты прочностного расчета рамы кузова вагона и их анализ, который позволил выбрать наиболее рациональный вариант исполнения конструкции консольной части рамы кузова и установить целесообразность применения усиливающих раскосов.

кузов вагона, метрополитен, срок службы, шкворневые балки, хребтовые балки.

Введение

На Петербургском метрополитене эксплуатируются несколько модификаций подвижного состава, рамы кузова которых имеют существенные различия.

1 Текущее состояние кузовов вагонов метрополитена

В вагонах модели «Е» и «Ем» [1] (эксплуатируются на Петербургском метрополитене с начала 1960-х годов) консольная часть рамы кузова состоит из шкворневой балки, которая опирается непосредственно на тележку, раскосой Z-образной хребтовой балки, к которой крепится ударно-тяговый аппарат автосцепного устройства, и боковой продольной балки (рис. 1).

При такой конфигурации консольной части рамы кузова продольные усилия от автосцепного устройства практически передаются на боковые продольные балки, не вызывая дополнительного изгиба шкворневой балки.

Недостатком данной конструкции является отсутствие достаточной жесткости раскосой Z-образной балки: за период эксплуатации происходили потери устойчивости элементов консольной части рамы и пластические деформации раскосой Z-образной балки.

В вагонах 81 серии (эксплуатируются на Петербургском метрополитене с конца 1970-х годов) консольные части рамы кузова имеют другую конструкцию (рис. 2а): из шкворневой балки, боковых продольных балок и прямой хребтовой балки, которая представляет собой два швеллера с сечением 180×70×6 мм [1]. В средней части на нижних (горизонтальных) полках швеллера установлены две косынки, с которым соединяется узел крепления ударно-тягового аппарата автосцепки.

Такое исполнение балок позволило исключить потери устойчивости элементов консольной части рамы и пластические деформации хребтовых балок. Однако в процессе эксплуатации выявились «слабые» зоны этой конструкции консольной части рамы. В зоне окончания приварки флангового сварного шва, соединяющего продольное вертикальное ребро узла крепления ударно-тягового аппарата автосцепки с нижней полкой швеллера хребтовой балки, из-за высокой концентрации напряжений появляются усталостные трещи-

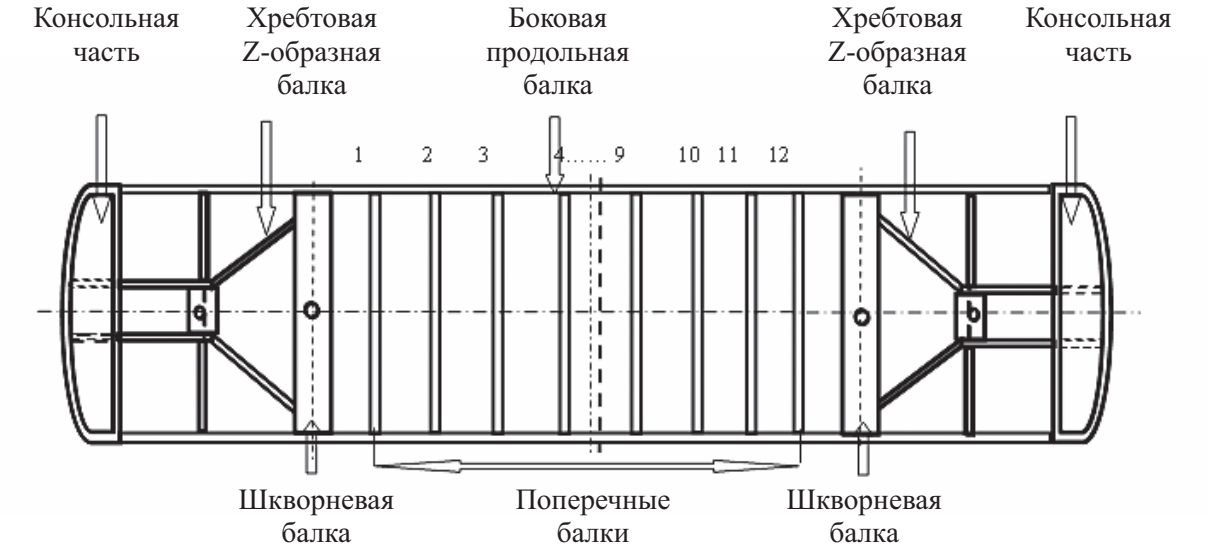


Рис. 1. Общий вид рамы кузова вагона метрополитена серии Е, Ем

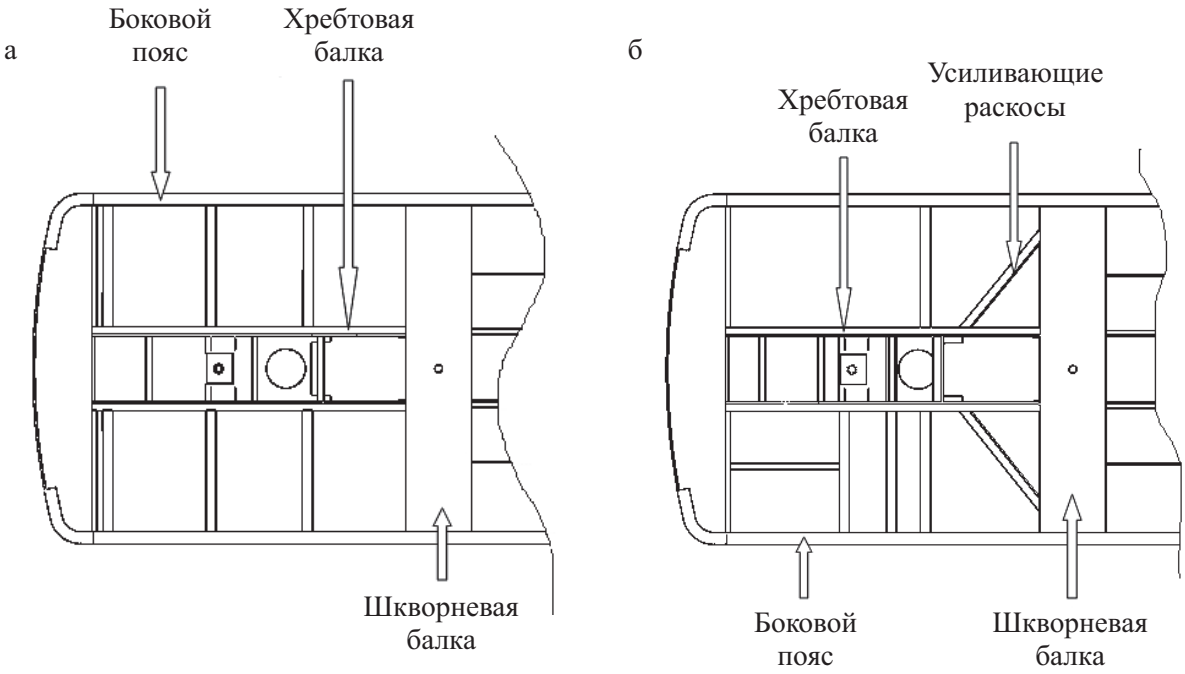


Рис. 2. Общий вид концевой части рамы кузова вагона метрополитена 81 серии:
а) без усиливающих раскосов; б) с усиливающими раскосами

ны. Также выявлены места трещинообразования на вертикальных листах шкворневых балок.

Заводы – изготовители вагонов метрополитена разработали варианты усиления консольной части рамы кузова за счет установки раскосов (рис. 2б). Предполагалось, что установка раскосов обеспечит более распределенную передачу продольных усилий на шкворневую балку и позволит исключить трещинообразование на вертикальных листах шкворневых балок. При этом использованы два варианта

технологического соединения раскоса с хребтовой балкой: раскос проходит внутрь швеллера балки либо приваривается к торцам полок швеллера. При втором варианте установки раскосов в нижней полке швеллера возникает повышенный уровень концентрации напряжений (результаты расчетов приведены ниже).

При проведении капитального ремонта вагонов 81 серии в Петербургском метрополитене производится усиление консольной части рамы кузова, которое включает в себя установку шкворневой балки с толщиной вертикальных листов 10 мм, горизонтальных – 12 мм (вместо шкворневых балок с толщиной вертикальных листов 6 (8) мм и толщиной горизонтальных листов 8 (10) мм), а также хребтовых балок с технологическими улучшениями (рис. 3).

Кроме того, устанавливаются раскосы. Такая конструкция консольной части рамы применена и в последних вагонах 81 серии.

2 Расчет рамы кузова на прочность

Для анализа различных конструкций консольной части рамы кузова вагонов 81 серии были проведены сравнительные прочностные расчеты трех вариантов расчетных моделей:

1) шкворневая балка с толщиной горизонтальных листов 8 мм, вертикальных – 6 мм (серийное исполнение) (рис. 2а);

2) шкворневая балка с толщиной горизонтальных листов 12 мм, вертикальных – 10 мм (рис. 2а);

3) шкворневая балка с толщиной горизонтальных листов 12 мм, вертикальных – 10 мм с раскосами (рис. 2б).

Кузов вагона метрополитена опирается на две тележки через пятниковый узел. Брутто кузова вагона 81 серии 392,4 кН (40 тс). Принимается, что вся вертикальная нагрузка от брутто кузова равномерно распределена по площади пола.

Кроме вертикальной нагрузки в расчете учитываются продольные силы, действующие в зоне крепления автосцепки. Величина этих сил 0,5 МН (50 тс) для I расчетного режима и 0,12 МН (12 тс) для II расчетного режима [2].

Общий вид распределения нагрузки на раму кузова представлен на рис. 4. В квадратах показана величина вертикальных сил, действующих на раму.

При расчете приняты следующие допущения:

1. Вертикальная жесткость кузова (стенок кузова) значительно превышает вертикальную жесткость боковых поясов рамы кузова. Условно принимаем жесткость боковых поясов равной жесткости стенок кузова, так как в расчете не определяется прочность бокового пояса рамы кузова;

2. Рама кузова шарнирно опирается на тележку через пятник;

3. Влияние гофрированного пола на жесткость и прочность элементов рамы не учитывалось;

4. Нагрузка от пола равномерно передается на поперечные и продольные элементы рамы кузова вагона по упомянутой выше схеме;

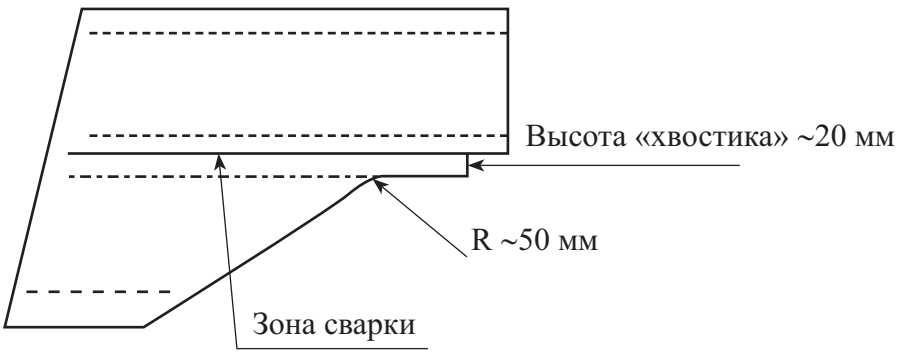


Рис. 3. Зона перехода ребра к швеллеру продольной балки

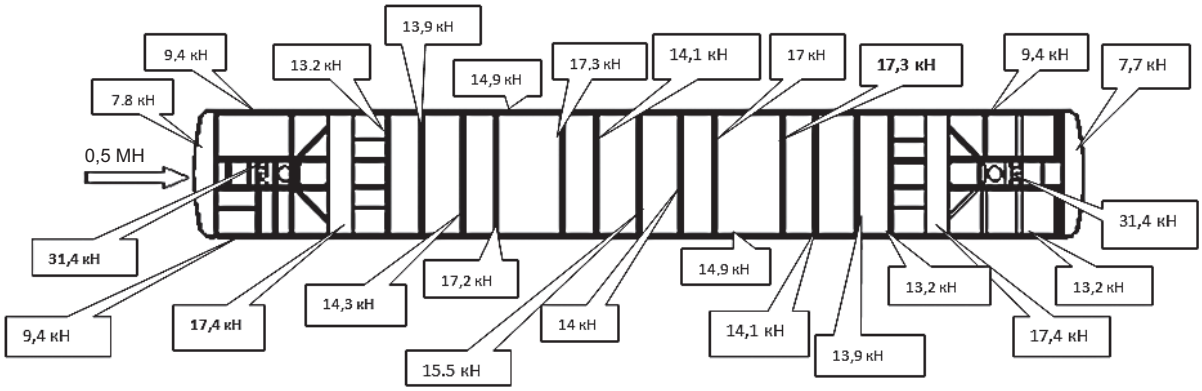


Рис. 4. Общий вид распределения нагрузки на раму кузова

5. Влияние средней части рамы кузова на прочность и жесткость концевой части рамы не учитывается;

6. Продольные нагрузки от автосцепки прикладывались в зоне крепления водила автосцепки (с левой стороны приложена сила 0,5 МН, с правой стороны введено перемещение от продольного перемещения).

Рама кузова была смоделирована в виде твердотельных элементов в программном пакете проектирования и рассчитана по методу конечных элементов [3]. Для учета жесткости боковой стенки кузова была смоделирована часть кузова (до уровня окон). Общее количество конечных элементов (для исходного варианта) составило 948 580, узлов – 1 890 222. На модель наносилась конечно-элементная сетка с элементами типа десятиузловой треугольной пирамиды с максимальной величиной ребра:

• для средней части рамы кузова – 50 мм;

• концевой – 25 мм;

• вертикальных листов шкворневых балок в зонах с высоким градиентом напряжений – 10 мм.

Граничные условия в пятниковом узле (рис. 5), ограничивают перемещение кузова в вертикальном и поперечном направлениях (X = 0; Y = 0).

Узел крепления автосцепки к раме кузова одной из хребтовых балок был закреплен для предотвращения продольного перемещения (Z = 0).

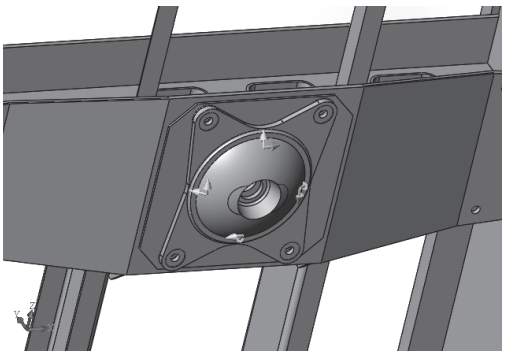


Рис. 5. Схема закрепления рамы кузова в пятниковом узле

Оценка результатов прочностного расчета производилась по 10 контрольным точкам (зонам) на шкворневой и хребтовой балке, в месте соединения раскосов с хребтовой балкой (рис. 6). Напряжения в стенках шкворневой балки определялись около армировки на расстоянии 15 мм от сварного шва.

3 Анализ результатов расчета

В табл. 1 приведены результаты прочностного расчета для I расчетного режима. Расчеты производились отдельно от вертикальной нагрузки (В), от продольной силы (П) и от совместного действия вертикальной и продольной нагрузок (В + П).

Приведенные эквивалентные расчётные напряжения учитывают концентрацию напряжений в узловых элементах конструкции.

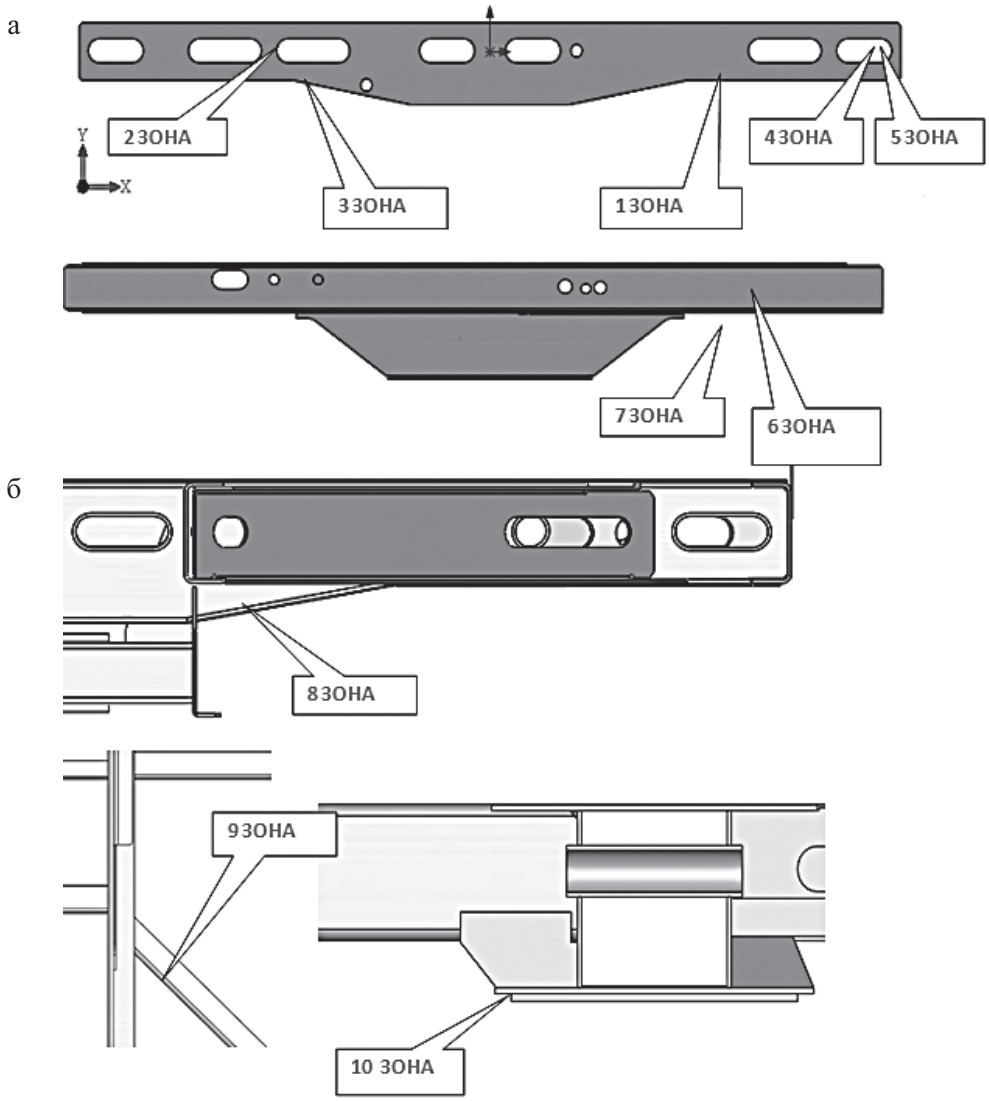


Рис. 6. Схема контрольных точек (зон):
а) шкворневая балка; б) хребтовая балка

Анализ данных табл. 1 показывает, что в «усиленном» варианте шкворневой балки уровень напряжений снизился по сравнению с серийной шкворневой балкой (вариант 1) в 1,2–1,6 раза. Такое снижение уровня напряжений повысит долговечность балки минимум в два раза, что позволит существенно продлить срок службы кузова серийного вагона [4].

Применение в раме кузова более жесткой шкворневой балки приводит к некоторому повышению напряжений в хребтовой балке от продольных усилий.

Введение раскосов практически не снижает уровня напряжения в шкворневой и хребтовой балках.

Так как приварка раскосов к хребтовой и шкворневой балке позволяет повысить концентрацию напряжений и, соответственно, снизить сопротивление усталости в этих зонах продольной и шкворневой балки, целесообразно не вводить раскосы в данную конструкцию концевой части рамы кузова.

Для оценки прочности «усиленного» варианта концевой части рамы кузова (без при-

ТАБЛИЦА 1 Значения эквивалентных напряжений расчетных моделей, МПа

№ точки	1 вариант			2 вариант			3 вариант		
	В	П	В + П	В	П	В + П	В	П	В + П
1	95	175	270	80	140	220	85	135	220
2	135	185	315	90	140	220	90	140	220
3	95	175	270	80	140	220	80	140	220
4	175	150	320	110	110	210	110	115	215
5	190	170	355	115	115	220	115	115	220
6	5	130	130	5	145	150	5	150	150
7	~ 0	290	290	~ 0	310	310	~ 0	310	310
8	10	275	285	15	315	330	15	315	330
9	–	–	–	–	–	–	~ 0	30	30
10	60	230	285	60	290	350	65	300	360

ТАБЛИЦА 2 Значения напряжений в шкворневой и хребтовой балке (вариант 2) при эксплуатационном режиме (II режим), МПа

Напряжение	№ точки								
	1	2	3	4	5	6	7	8	10
Вертикальная нагрузка, $В \cdot К_д$	92	103	92	126	132	6	~ 0	17	70
Продольная нагрузка, П	34	34	34	27	28	35	74	75	70
Суммарное напряжение	126	137	126	153	160	41	75	92	140

менения раскосов) был произведен расчет по II (эксплуатационному) режиму [2], где вертикальная нагрузка определяется исходя из массы брутто кузова, умноженной на максимальный коэффициент вертикальной динамики, $К_д = 1{,}15$ [2], а продольная сила равна 0,12 МН (12 тс) [4]. Результаты расчета приведены в табл. 2.

Согласно действующим нормам [2], при эксплуатационном режиме для шкворневой и хребтовой балки рамы кузова, изготовленных из стали 20 (Ст3 сп), допустимы напряжения $[\sigma] = 160$ МПа.

Результаты расчета показали, что суммарное напряжение во всех исследованных зонах шкворневой и хребтовой балки не превышает допустимых: $\sigma_{МАК} < [\sigma] = 160$ МПа.

Рекомендации данной работы были использованы на Петербургском метрополитене.

Заключение

1. Отработана методика прочностного расчета рамы кузова вагона метрополитена 81 серии. Примененный пакет программного проектирования позволил создать объёмную конечно-элементную модель рамы кузова и по методу конечных элементов в программном продукте провести многовариантный анализ расчетов с учетом всех нормированных нагрузок.

2. Анализ полученного напряженного состояния несущих элементов рамы кузова позволил выбрать рациональную конструкцию консольной части рамы и установить целесообразность применения усиливающих раскосов.

Библиографический список

1. **Электропоезда** метрополитена / Э. М. Добровольская. – Москва : ИРПО ; Академия, 2003. – 320 с.

2. **Нормы** для расчета и проектирования механической части новых и модернизированных вагонов метрополитенов СССР колеи 1520 мм. – Москва : ВНИИВ-ВНИИЖТ-ММЗ, 1987.

3. **Применение** метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. – Москва : Мир, 1979. – 392 с.

4. **Расчет** на прочность рамы кузова вагона метрополитена модели 81-717/714. – Москва : ОАО «НИИ вагоностроения», 2014.

УДК 629.052.3

Е. В. Соболев, Ал-Рубой Мудар, Е. А. Рубцов
Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПОКРЫТИЯ ВОЗДУШНЫХ ТРАСС РЕСПУБЛИКИ ИРАК РАБОЧИМИ ОБЛАСТЯМИ РАДИОМАЯКОВ VOR/DME

Покрытие воздушных трасс зонами действия радиотехнических средств навигации является необходимым условием обеспечения безопасности полетов. Достаточным же условием является покрытие воздушных трасс рабочими областями, что позволяет обеспечить требуемую точность и безопасность полетов.

В статье выполнен расчет степени покрытия выбранных трасс рабочими областями маяков VOR/DME, который выявил протяженные участки трасс, где не соблюдаются требования к точности определения координат ВС. Рекомендовано внедрить дополнительные навигационные маяки. Расчет, выполненный с учетом рекомендаций, показал, что в этом случае протяженность непокрытых участков уменьшится от 2,2 до 2,7 раз в зависимости от высоты полета.

рабочая область, VOR/DME, RNP, зональная навигация.

Введение

Рост объемов воздушных перевозок в Республике Ирак обусловливает необходимость повышения пропускной способности воздушного пространства и его оптимального использования с учетом возрастающих требований к безопасности полетов.

В работе [1] были определены зоны действия существующих маяков VOR/DME, расположенных на территории Республики Ирак и вдоль границы страны, а также даны рекомендации по внедрению дополнительных маяков. Рекомендации позволяют добиться полного покрытия воздушных трасс зонами действия РТС-навигации. Данное обстоятель-

ство является необходимым условием обеспечения безопасности полетов. Достаточным же условием является выполнение требований к точности определения координат воздушных судов (ВС).

1 Требования к безопасности полетов

Основные требования к безопасности полетов устанавливают исходя из действующих норм эшелонирования, допустимого уровня опасных сближений летательных аппаратов и риска столкновений воздушных судов друг с другом вследствие нарушения норм эшелонирования [2].

Однако в навигационной практике чаще применяются критерии точности самолетовождения. Общая погрешность самолетовождения состоит из следующих погрешностей: задания траектории, навигационных измерений, отображения информации, инструментальной погрешности вычислений, а также погрешности пилотирования. Перечисленные погрешности являются независимыми [2].

Основными составляющими в суммарной погрешности самолетовождения являются погрешности навигационных измерений и погрешности пилотирования:

$$\sigma_{\text{доп}} = \sqrt{\sigma_{\text{нс}}^2 + \sigma_{\text{пил}}^2}. \qquad (1)$$

Отсюда допустимая средняя квадратическая погрешность (СКП) навигационных измерений:

$$\sigma_{\text{нс_треб}} = \sqrt{\sigma_{\text{доп}}^2 - \sigma_{\text{пил}}^2}. \qquad (2)$$

СКП пилотирования при полете по маршруту не превышает 0,463 км [3].

2 Расчет рабочей области маяка VOR/DME

Чтобы оценить точность самолетовождения при полетах по концепции зональной навигации, необходимо рассчитать рабочие области (РО) навигационных маяков. РО называют объем пространства, в пределах которого данная радиотехническая система обеспечивает требуемые точность и безопасность полетов. В свою очередь, точность РТС есть способность полной системы удерживать ВС в пределах требуемого интервала с вероятностью не хуже заданной [2].

В качестве показателя точности навигации в Руководстве ИКАО выбрана круговая погрешность заданного радиуса. В пределах РО вероятность нахождения ВС в круговой области должна составлять не менее 0,95. Так как в качестве показателя точности используется величина круговой погрешности, то это означает, что в пределах указанных величин должны находиться погрешности навигации как в боковом, так и в продольном направлении.

Радиус круговой погрешности зависит от типа воздушного пространства. Для континентального воздушного пространства, в регионах, оснащенных радиомаяками VOR/DME при сравнительно небольшом их разносе, рекомендуется использовать RNP4. При этом круговая погрешность навигации не должна превышать 4 мм (7,4 км) для вероятности 95 %. При учете погрешности пилотирования по формуле (2) получим, что предельно допустимая погрешность систем навигации для RNP4 составляет 7,38 км.

Для расчета текущей погрешности определения координат ВС в ИКАО разработана методика расчета, в основе которой лежит расчет радиуса аппроксимирующего круга [4]:

$$R = 2 \cdot d_{rms}, \qquad (3)$$

где $d_{rms} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$ – суммарная СКП; σ_1, σ_2 – погрешности каналов измерения координаты ВС.

Затем методом имитационного моделирования находят удаление, на котором радиус аппроксимирующего круга равен радиусу круга удерживания соответствующего типа воздушного пространства. Найденное удаление будет радиусом РО.

Навигационные параметры измеряются различными системами: азимут – угломерным оборудованием VOR, удаление – дальномерным оборудованием DME. Таким образом, СКП измерения навигационных параметров являются независимыми.

Система VOR/DME является азимутально-дальномерной; линейная погрешность азимутального канала находится как

$$\sigma_{\alpha_лин} = D \cdot \sigma_{\alpha}, \quad (4)$$

где σ_{α} – СКП азимутального канала (в радианах); D – удаление от маяка;
погрешность дальномерного канала находится как

$$\sigma_D = \sqrt{\sigma_{D0}^2 + (D \cdot k_D)}, \quad (5)$$

где σ_{D0} – СКП дальномерного канала; k_D – коэффициент нарастания погрешности с расстоянием.

Зададим значения погрешностей маяка, рекомендованные ИКАО [5]:

$\sigma_{\alpha} = 1° = 0{,}0175$ рад;

$\sigma_{D0} = 0{,}495$ км;

$k_D = 0{,}00125$.

Погрешность пилотирования по маршруту примем 0,463 км. Тогда радиус рабочей области для воздушного пространства типа RNP4 составит 213 км.

В отсутствие закрытий РО имеет форму круга. Однако размеры рабочей области не могут превышать размеров зоны действия, что становится заметным при больших закрытиях и на малых высотах [2]. Это видно на рис. 1–4.

3 Оценка покрытия воздушных трасс рабочими областями существующих маяков VOR/DME

Результаты расчета степени покрытия воздушных трасс РО для высоты полета 10 000 м при существующем навигационном обеспечении представлены на рис. 1 и в табл. 1.

Интегральная степень покрытия трасс РО равна 42 %.

Результаты расчета степени покрытия воздушных трасс РО для высоты полета 6000 м при существующем навигационном обеспечении представлены на рис. 2 и в табл. 2.

Интегральная степень покрытия трасс РО равна 34 %.

4 Оценка покрытия воздушных трасс рабочими областями маяков VOR/DME учетом рекомендаций

В работе [1] была дана рекомендация дооснастить аэродромы Багдада и Сулеймании дальномерным оборудованием DME, а также внедрить маяки VOR/DME в Таль-Афаре и Аль-Асаде.

ТАБЛИЦА 1. Степень покрытия трасс РО существующих маяков VOR/DME для высоты полета 10 000 м

Трасса	1–1`	2–2`	3–3`	4–4`	5–5`
Длина трассы, км	1128	1143	1212	772	564
Длина участков, покрытых РО, км	777	381	127	342	287
Степень покрытия, %	69	33	11	44	51

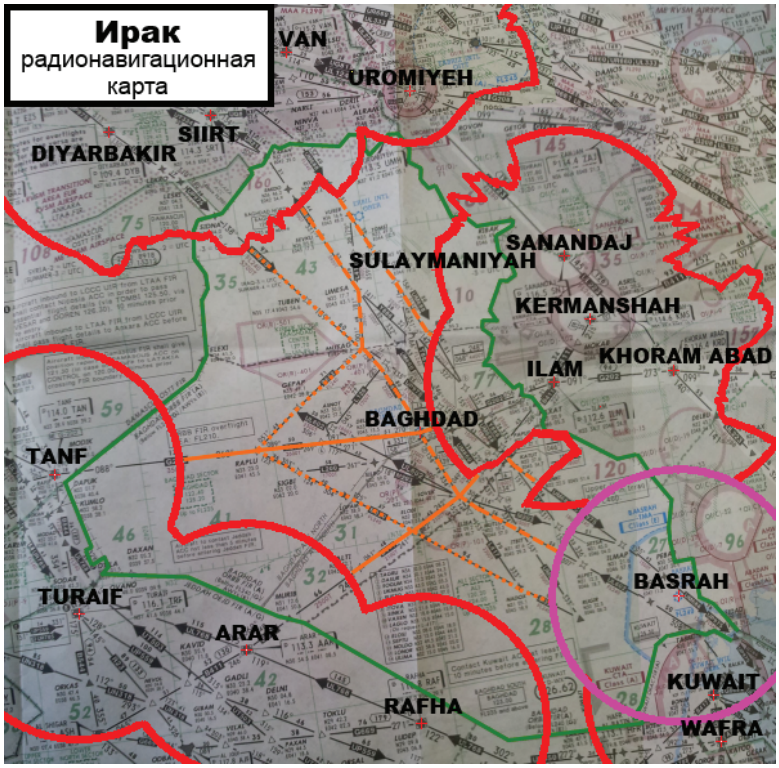


Рис. 1. Анализ покрытия воздушных трасс РО для существующих маяков VOR/DME для высоты полета 10 000 м

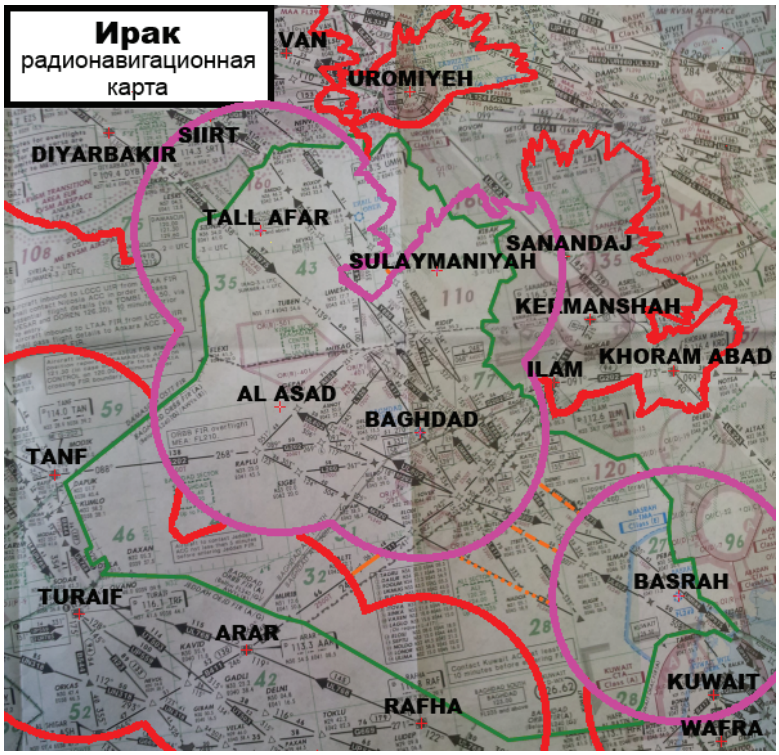


Рис. 2. Анализ покрытия воздушных трасс РО для существующих маяков VOR/DME для высоты полета 6000 м

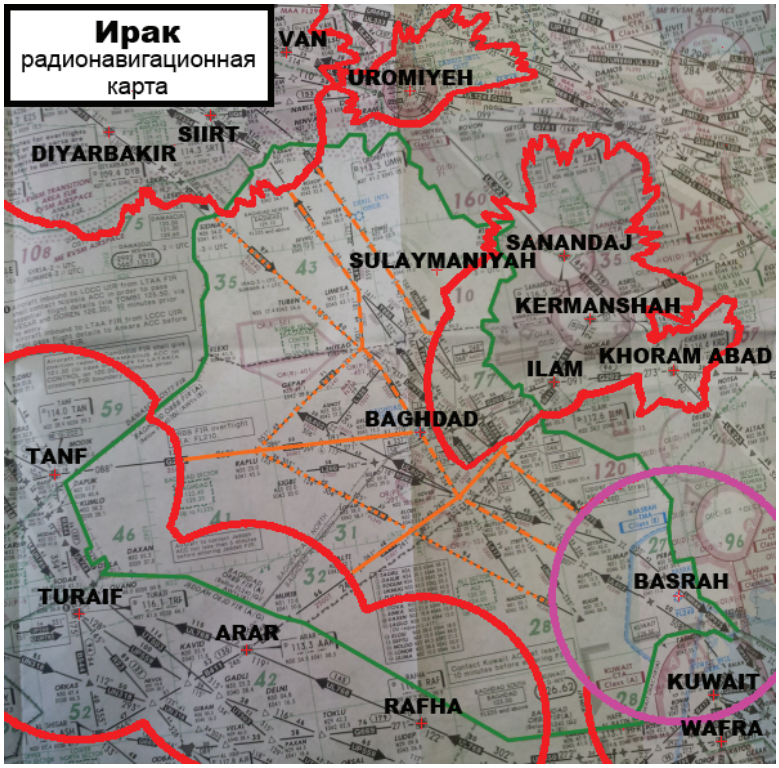


Рис. 3. Анализ покрытия воздушных трасс РО маяков VOR/DME DME с учетом рекомендаций для высоты полета 10 000 м

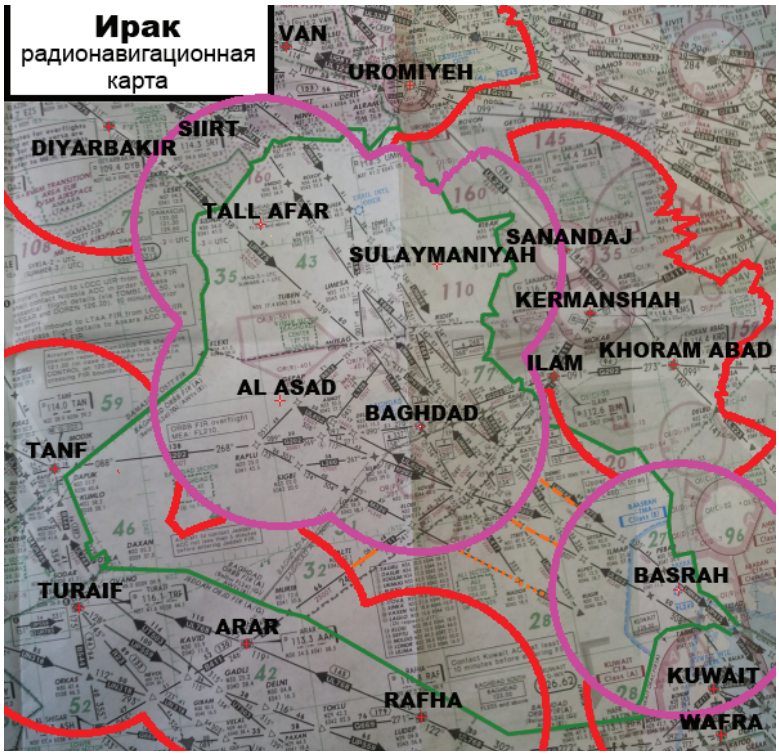


Рис. 4. Анализ покрытия воздушных трасс РО маяков VOR/DME DME с учетом рекомендаций для высоты полета 6000 м

ТАБЛИЦА 2. Степень покрытия трасс РО существующих маяков VOR/DME для высоты полета 6000 м

Трасса	1–1`	2–2`	3–3`	4–4`	5–5`
Длина трассы, км	1128	1143	1212	772	564
Длина участков, покрытых РО, км	628	343	60	332	192
Степень покрытия, %	56	3	5	43	34

Результаты расчета степени покрытия воздушных трасс РО для высоты полета 10 000 м при условии внедрения дополнительного оборудования представлены на рис. 3 и в табл. 3.

Интегральная степень покрытия трасс РО равна 92 %.

Результаты расчета степени покрытия воздушных трасс РО для высоты полета 6000 м при условии внедрения дополнительного оборудования представлены на рис. 4 и в табл. 4.

Интегральная степень покрытия трасс РО равна 91 %.

Заключение

Анализ точности самолетовождения для полетов по концепции зональной навигации был проведен методом расчета рабочих областей маяков VOR/DME. Внедрение дополнительных маяков привело к тому, что интегральная степень покрытия воздушных трасс РО выросла для высоты полета 10 000 м в 2,2 раза (с 42 до 92 %), для высоты полета 6000 м – в 2,7 раза (с 34 до 91 %).

Предложенные рекомендации позволят значительно повысить точность самолетовождения и уровень безопасности полетов в регионе.

Внедрение дополнительных маяков VOR/DME и дальномерного оборудования позволит не только улучшить навигационное обеспечение в регионе, повысить точность самолетовождения и уровень безопасности полетов, но и (за счет того, что маяки предполагается расположить на территории Республики Ирак)

ТАБЛИЦА 3. Степень покрытия трасс РО маяков VOR/DME DME с учетом рекомендаций для высоты полета 10 000 м

Трасса	1–1`	2–2`	3–3`	4–4`	5–5`
Длина трассы, км	1128	1143	1212	772	564
Длина участков, покрытых РО, км	1044	1048	1030	772	503
Степень покрытия, %	93	92	85	100	89

ТАБЛИЦА 4. Степень покрытия трасс РО маяков VOR/DME DME с учетом рекомендаций для высоты полета 6000 м

Трасса	1–1`	2–2`	3–3`	4–4`	5–5`
Длина трассы, км	1128	1143	1212	772	564
Длина участков, покрытых РО, км	1016	1025	1030	772	503
Степень покрытия, %	90	90	85	100	89

обеспечить навигационную независимость страны.

Авторы выражают благодарность Министерству образования и науки Республики Ирак, а также сотрудникам посольства Республики Ирак за оказанную помощь и поддержку.

Библиографический список

1. **Вариант** рационального состава и размещения радиомаяков VOR/DME в Республике Ирак для обеспечения зональной навигации / Е. В. Соболев, Ал-Рубой Мудар, Е. А. Рубцов // Изв. Петербург. ун-та путей сообщения. – 2014. – Вып. 2 (39). – С. 111–117.

2. **Организация** радиотехнического обеспечения полетов. Ч. 1. Основные эксплуатационные требования к авиационным комплексам навигации, посадки, связи и наблюдения: учеб. пособие / Е. В. Соболев. – Санкт-Петербург : СПбГУ ГА, 2007. – 120 с.

3. **Руководство** по требуемым навигационным характеристикам (RNP). ИКАО документ 9613 AN-937, 1999. – 68 p.

4. **Stellios, P. M.** Error distributions and accuracy measures in navigation: an overview. Geodesy and geomatics engineering UNB, technical report N 113/Dep. of Surveying Engineering Univ. of New Brunswick. – Canada, 1985. – 160 p.

5. **Руководство** по навигации, основанной на характеристиках (PBN). ИКАО документ 9613 AN/937, 3-е изд., 2008. – 264 с.

УДК 504:656.2

Т. С. Титова, Е. И. Макарова
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭКОЗАЩИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Проведена оценка качества технологий очистки загрязненных металлических поверхностей с использованием моющих средств, разработанных на кафедре «Инженерная химия и естествознание» в сравнении с известными моющими средствами, применяемыми в настоящее время на железнодорожном транспорте. Оценка производилась с помощью индексов PQ (property quality), поскольку в этом случае можно, используя определенные математические операции, проанализировать различные аспекты: экологические, технологические и эксплуатационные; полученные данные затем суммируются; чем выше значение индекса PQ, тем выше качество технологического решения.

экозащитная технология, качество технологии, очистка поверхностей, загрязнение, моющее средство, утилизация отработанных моющих растворов, защита окружающей среды, железнодорожный транспорт.

Введение

В процессе эксплуатации металлические детали подвижного состава неизбежно подвергаются загрязнению, причины которого связаны, прежде всего, с налипанием дорожной

пыли и копоти, остатков перевозимого груза и продуктов износа ходовых частей подвижного состава, с коррозией металлов и т. п. Загрязнения представляют собой многокомпонентные образования, обладающие разнообразными физико-механическими, адгезионными свойствами и химическим составом.

Удаление производственных и эксплуатационных загрязнений на железнодорожном транспорте необходимо, так как является залогом не только экологической безопасности объекта, но и его долговечности. Ежегодно объемы работ по очистке поверхности от загрязнений составляет до 50 млрд м^2. В настоящее время для удаления загрязнений с поверхностей применяют механический, термический, электрический, химический, электрохимический и комбинированный способы очистки. Наиболее эффективен химический метод, при котором используются моющие композиции.

Ежегодно в Российской Федерации производится до 100 тыс. т технических моющих средств, после использования которых образуется до 10 млн м^3 отработанных моющих растворов, содержащих нефтепродукты, ионы тяжелых металлов, поверхностно-активные вещества (ПАВ) и другие загрязнители. Выбор технологии очистки и моющего средства обусловлены различными факторами (степенью загрязненности поверхности, составом загрязнения), а также экологической и экономической эффективностью. Таким образом, перед использованием технологий очистки возникает необходимость их комплексной оценки, которая может базироваться на сравнении различных аспектов.

В данной работе в соответствии с методикой [1] были проанализированы качества технологий очистки металлических поверхностей с использованием моющих средств, разработанных на кафедре «Инженерная химия и естествознание» Петербургского государственного университета путей сообщения (ПГУПС) [2–6] под руководством д. т. н. профессора Л. Б. Сватовской, и технологий очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ОБИС, применяемого на железнодорожном транспорте.

Отличительные особенности этих моющих средств (ГЕЛЕС-1, ГЕЛЕС-2, ПКФ): 1) новые моющие средства не содержат ПАВ, что принципиально для защиты окружающей среды; 2) не требуют нагрева, а значит, их применение позволяет экономить электроэнергию; 3) их отработанные моющие растворы можно использовать при производстве фосфатных строительных материалов, а не вывозить на полигон для захоронения. Сравнительный анализ целесообразно проводить по нескольким параметрам: экологическому, технологическому и эксплуатационному. Сущность методики заключается в присвоении технологиям значений индекса качества PQ в диапазоне от 0 до 1. При этом чем выше значение индекса PQ, тем выше качество разработанной технологии.

1 Выбор объектов исследования при оценке качества технологий очистки металлических поверхностей с использованием моющих средств

Новые технологии очистки загрязненных металлических поверхностей предлагается сравнивать с технологией, используемой в настоящее время на железнодорожном транспорте. В качестве n-го объекта исследования выбираем объекты:

• известная технология: очистки загрязненных металлических поверхностей с использованием моющего средства ОБИС ($n = 1$);

• новые технологии: очистки загрязненных металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-1 ($n = 2$); с использованием моющего средства ГЕЛЕС-2 ($n = 3$); с использованием моющего средства ПКФ ($n = 4$).

2 Выбор аспектов сравнения объектов исследования и определение значимости аспектов

Выбираем аспекты сравнения объектов исследования. Определяем значимость аспектов исходя из процентного отношения каждого аспекта к другим и к сумме аспектов в целом. При этом сумма значимостей аспектов должна составлять 100 %.

В качестве *j*-го аспекта исследования выбирают экологический ($j = 1$), технологический ($j = 2$), эксплуатационный аспекты ($j = 3$).

Значимость аспектов исследования Z_j принимаем равной:

$Z_1 = 70\,\%$ – для экологического;

$Z_2 = 15\,\%$ – для технологического;

$Z_3 = 15\,\%$ – для эксплуатационного.

3 Выбор перечня свойств, описывающих исследуемые объекты

Для каждого аспекта сравнения объектов исследования выбираем перечень описывающих его свойств. Определяем значимость свойств каждого аспекта исходя из процентного отношения свойств друг к другу и к сумме свойств в целом. При этом сумма значимостей свойств каждого аспекта должна составлять 100 %.

В качестве *k*-го свойства ($j = 1$), описывающего исследуемые объекты в экологическом аспекте, выбраны:

• содержание растворенных нефтепродуктов в отработанном моющем растворе ($k = 1$);

• присутствие ПАВ в моющем средстве ($k = 2$).

Значимость *k*-го свойства ($j = 1$) в экологическом аспекте:

• $Z_{1,1} = 50\,\%$ – для содержания растворенных нефтепродуктов в отработанном моющем растворе;

• $Z_{1,2} = 50\,\%$ – для присутствия ПАВ.

В качестве *k*-го свойства в технологическом аспекте ($j = 2$) выбраны качество очистки, %; температура очистки, °С.

Значимость *k*-го свойства ($j = 2$) в технологическом аспекте:

• $Z_{2,1} = 50\,\%$ – для качества очистки;

• $Z_{2,2} = 50\,\%$ – для температуры очистки.

В качестве *k*-го свойства, описывающего исследуемые объекты в эксплуатационном аспекте ($j = 3$), выбраны:

• утилизация отработанного моющего раствора ($k = 1$);

• возможность очистки тяжелых фракций нефтепродуктов (мазута) при 20 °С ($k = 2$).

Значимость *k*-го свойства в эксплуатационном аспекте ($j = 3$):

• $Z_{3,1} = 50\,\%$ – для утилизации отработанного моющего раствора;

• $Z_{3,2} = 50\,\%$ – для очистки от мазута при 20 °С.

4 Определение индекса PQ^n_{jk} для каждого рассматриваемого свойства определенного аспекта для каждого объекта

Определяем индекс PQ для каждого свойства. Рассчитываем индекс PQ выбранных объектов исследования ($n = 1, 2, 3, 4$) для выбранных свойств каждого аспекта. Для каждого свойства находим интервал значений, лучшее значение для заданного интервала и разбиваем интервал на диапазоны (категории качества). Каждому диапазону присваиваем коэффициент падения качества (КПК). Для приведения свойства к диапазону от 0 до 1 необходимо задать интервал значений этого свойства для рассматриваемого аспекта, лучшее и худшее значения из заданного интервала и обосновать их. Далее лучшему значению присваивают нормированное значение 1, худшему – 0, а любому значению из интервала какое-то значение в открытом диапазоне от 0 до 1.

Например, для свойства «качество очистки» выбираем интервал значений от 100 до 0, считая, что 100 %-ная очистка является наилучшим значением, 0 % – наихудшее значение. Лучшему значению (100 %) присваивают

значение 1, худшему (0 %) – 0. Лучшее значение в данном случае совпадает с правой границей. Разбиваем заданный интервал между 0 и 100 % на четыре равных диапазона для более объективного отражения падения качества. Считается, что качество повышается к правой границе диапазона.

Присваиваем коэффициентам падения качества в каждом диапазоне значения 1, 2, 3, 4, соответственно. В результате получаем диапазоны со следующими характеристиками:

- 1-й диапазон – 100–75 % $КПК_1 = 1$;
- 2-й диапазон – 75–50 % $КПК_2 = 2$;
- 3-й диапазон –50–25 % $КПК_3 = 3$;
- 4-й диапазон – 25–0 % $КПК_4 = 4$.

Находим значения коэффициента нормирования интервала, коэффициенты нормирования каждого диапазона и индексы PQ правой границы диапазонов:

$$K_d = \sum КПК_i (D_{прав.i} - D_{лев.i})$$

$$K_d = 4 \cdot (25 - 0) + 3 \cdot (50 - 25) + 2 \cdot (75 - 50) + 1 \cdot (100 - 75) = 250$$

$$K_{1d} = КПК/K_d$$

$$K_{id} = 1/K_d = 1/250 = 0{,}004$$

$$PQ_{лев.id} = PQ_{прав.id} - (D_{прав.i} - D_{лев.i}) \cdot K_{id}$$

$$PQ_{1d} = 1 - (100 - 75) \cdot 0{,}004 = 0{,}9$$

$$K_{2d} = 2/K_d = 2/250 = 0{,}008$$

$$PQ_{2d} = 0{,}9 - (75 - 50) \cdot 0{,}008 = 0{,}7$$

$$K_{3d} = 3/K_d = 3/250 = 0{,}012$$

$$PQ_{3d} = 0{,}7 - (50 - 25) \cdot 0{,}012 = 0{,}4$$

$$K_{4d} = 4/K_d = 4/250 = 0{,}016$$

$$PQ_{4d} = 0{,}4 - (25 - 0) \cdot 0{,}016 = 0$$

По результатам расчетов строим график падения качества свойства технологического аспекта «качество очистки» (см. рисунок).

По графику получаем показатели индекса PQ_i свойства для каждого объекта технологического аспекта (табл. 1).

5 Расчет индекса $PQ^n_{j,k}$ по выбранным аспектам и итоговый индекс PQ для каждой технологии

Рассчитываем индекс PQ для каждого аспекта сравнения объектов исследования как сумму произведений значимости свойства аспектов Z на значение индекса PQ свойств этого аспекта:

$$PQ = \Sigma Z_к PQ^n_к.$$

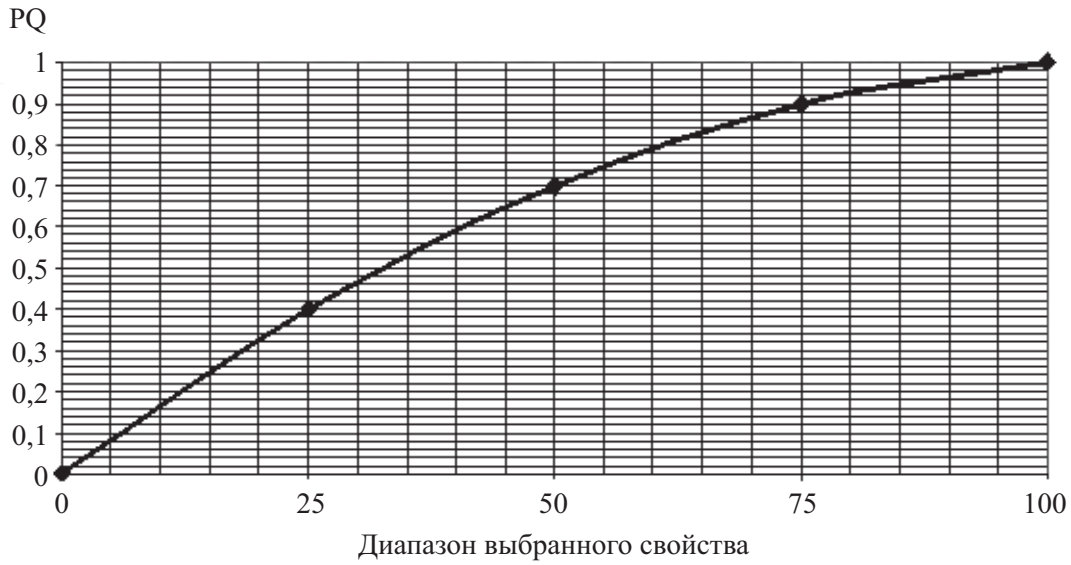


График падения качества технологии очистки загрязненных металлических поверхностей по технологическому аспекту, %

ТАБЛИЦА 1. Данные расчета индекса PQ для технологического аспекта

Объект исследования	Технологический аспект ($j = 2$)			
	Качество очистки $Z_{2,1} = 50\,\%$		Температура очистки $Z_{2,2} = 50\,\%$	
	Индекс PQ		Индекс PQ	
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ОБИС	$PQ^1_{2,1}$	0,72	$PQ^1_{2,2}$	0,8
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-1	$PQ^2_{2,1}$	1	$PQ^2_{2,2}$	1
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-2	$PQ^3_{2,1}$	1	$PQ^3_{2,2}$	1
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ПКФ	$PQ^4_{2,1}$	1	$PQ^4_{2,2}$	1

Аналогично определяем индексы PQ^n_{jk} для каждого из рассматриваемых свойств определенного аспекта для всех объектов (табл. 2, 3).

ТАБЛИЦА 2. Данные расчета индекса PQ для экологического аспекта

Объект исследования	Экологический аспект ($j = 1$)			
	Содержание растворенных нефтепродуктов в отработанном моющем растворе $Z_{1,1} = 50\,\%$		Присутствие поверхностно-активных веществ $Z_{1,2} = 50\,\%$	
	Индекс PQ		Индекс PQ	
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ОБИС	$PQ^1_{1,1}$	0	$PQ^1_{1,2}$	0
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-1	$PQ^2_{1,1}$	0,48	PQ^2_{12}	1
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-2	$PQ^3_{1,1}$	0,49	$PQ^3_{1,2}$	1
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ПКФ	$PQ^4_{1,1}$	0,5	$PQ^4_{1,2}$	1

Рассчитав индекс PQ^n_{jk} по различным объектам, получаем массив данных (табл. 4).

С учетом значимости аспектов суммируем данные и индекс PQ для каждой технологии:

$$PQ = \Sigma Z_i PQ^n_i.$$

Технология очистки с использованием моющего средства ОБИС:

$$PQ^1 = \Sigma Z_l PQ^l_1 = 0{,}7 \cdot 0 + 0{,}76 \cdot 0{,}15 + \\ + 0{,}28 \cdot 0{,}15 = 0{,}16.$$

ТАБЛИЦА 3. Данные расчета индекса PQ для эксплуатационного аспекта

Объект исследования	Эксплуатационный аспект ($j = 3$)			
	Утилизация отработанного моющего раствора $Z_{3,1} = 50\,\%$		Очистка от мазута при 20 °C $Z_{3,2} = 50\,\%$	
	Индекс PQ		Индекс PQ	
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ОБИС	$PQ^1_{3,1}$	0	$PQ^1_{3,2}$	0,56
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-1	$PQ^2_{3,1}$	1	$PQ^2_{3,2}$	1
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-2	$PQ^3_{3,1}$	1	$PQ^3_{3,2}$	1
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ПКФ	$PQ^4_{3,1}$	1	$PQ^4_{3,2}$	0,94

ТАБЛИЦА 4. Суммарные данные индекса PQ по выбранным аспектам

Объект исследования	Аспект		
	Экологический ($j = 1$)	Технологический ($j = 2$)	Эксплуатационный ($j = 3$)
	Расчет		
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ОБИС	$PQ^1_1 = \Sigma Z_{l,k} PQ^1_{l,k} = 0{,}5 \cdot 0 + 0{,}5 \cdot 0 = 0$	$PQ^1_2 = \Sigma Z_{l,k} PQ^1_{l,k} = 0{,}5 \cdot 0{,}72 + 0{,}5 \cdot 0{,}8 = 0{,}76$	$PQ^1_3 = \Sigma Z_{l,k} PQ^1_{l,k} = 0{,}5 \cdot 0 + 0{,}5 \cdot 0{,}56 = 0{,}28$
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-1	$PQ^2_1 = \Sigma Z_{l,k} PQ^2_{l,k} = 0{,}5 \cdot 0{,}48 + 0{,}5 \cdot 1 = 0{,}74$	$PQ^2_2 = \Sigma Z_{l,k} PQ^2_{l,k} = 0{,}5 \cdot 1 + 0{,}5 \cdot 1 = 1$	$PQ^2_3 = \Sigma Z_{l,k} PQ^2_{l,k} = 0{,}5 \cdot 1 + 0{,}5 \cdot 1 = 1$
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-2	$PQ^3_1 = \Sigma Z_{l,k} PQ^3_{l,k} = 0{,}5 \cdot 0{,}49 + 0{,}5 \cdot 1 = 0{,}75$	$PQ^3_2 = \Sigma Z_{l,k} PQ^3_{l,k} = 0{,}5 \cdot 1 + 0{,}5 \cdot 1 = 1$	$PQ^3_3 = \Sigma Z_{l,k} PQ^3_{l,k} = 0{,}5 \cdot 1 + 0{,}5 \cdot 1 = 1$
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ПКФ	$PQ^4_1 = \Sigma Z_{l,k} PQ^4_{l,k} = 0{,}5 \cdot 0{,}5 + 0{,}5 \cdot 1 = 0{,}75$	$PQ^4_2 = \Sigma Z_{l,k} PQ^4_{l,k} = 0{,}5 \cdot 1 + 0{,}5 \cdot 1 = 1$	$PQ^4_3 = \Sigma Z_{l,k} PQ^4_{l,k} = 0{,}5 \cdot 1 + 0{,}5 \cdot 0{,}94 = 0{,}97$

Технология очистки с использованием моющего средства ГЕЛЕС-1:

$$PQ^2 = \Sigma Z_l PQ_l^2 = 0,7 \cdot 0,74 + 0,15 \cdot 1 + \\ + 0,15 \cdot 1 = 0,82.$$

Технология очистки с использованием моющего средства ГЕЛЕС-2:

$$PQ^3 = \Sigma Z_l PQ_l^3 = 0,7 \cdot 0,745 + \\ + 0,15 \cdot 1 + 0,15 \cdot 1 = 0,82.$$

Технология очистки с использованием моющего средства ПКФ:

$$PQ^4 = \Sigma Z_l PQ_l^4 = 0,7 \cdot 0,75 + \\ + 0,15 \cdot 1 + 0,15 \cdot 0,97 = 0,82.$$

Выводы

Оценено качество технологий очистки металлических поверхностей с использованием моющих средств, разработанных на кафедре «Инженерная химия и естествознание», в сравнении с технологией очистки металлических поверхностей с использованием моющих средств, применяемых на железнодорожном транспорте. По результатам расчетов установлено, что технология очистки загрязненных металлических поверхностей с использованием моющего средства ОБИС имеет минимальное значение индекса PQ = 0,16, технологии очистки загрязненных металлических поверхностей с использованием моющих средств ГЕЛЕС-1, ГЕЛЕС-2 и ПКФ имеют индексы PQ = 0,82. По экологическому аспекту технология очистки загрязненных металлических поверхностей с использованием моющего средства ОБИС имеет PQ = 0, а технология с использованием моющих средств ГЕЛЕС-2 и ПКФ – 0,75. Если учесть, что в данной методике значение индекса PQ = 1 считается лучшим значением, то полученный результат свидетельствуют о более высоком качестве разработанных технологий и перспективности их использования.

Библиографический список

1. **Новые** экозащитные технологии на железнодорожном транспорте / Л. Б. Сватовская, А. М. Сычева, Е. И. Макарова и др. – Москва : УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2007. – 159 с.

2. **Пат.** № 2247770 Моющее средство для очистки металлической поверхности / Л. Б. Сватовская, Е. И. Макарова. Опубл. 10.03.2005 г. Бюл. № 7.

3. **Пат.** № 2272070 Моющее средство для очистки емкостей и металлических поверхностей / Л. Б. Сватовская, Е. И. Макарова. Опубл. 20.03.2006 г. Бюл. № 8.

4. **Пат.** № 2293110 Моющее средство для очистки емкостей и металлических поверхностей / Л. Б. Сватовская, Е. И. Макарова. Опубл. 10.02.2007 г. Бюл. № 4.

5. **Использование** гелеобразования в геоэкологии для утилизации отходов и обезвреживания нефтезагрязнений транспорта / Л. Б. Сватовская, Е. И. Макарова и др. // Экология урбанизированных территорий. – 2008. – № 3. – С. 90–94.

6. **Естественно-научные** основы создания технологий защиты окружающей среды на транспорте / Е. И. Макарова, А. А. Кондрашов // Естественные и технические науки. – 2011. – № 1 (51). – С. 55–58.

→ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

УДК 531.01

Л. К. Бабаджанянц, И. Ю. Потоцкая, Ю. Ю. Пупышева
Санкт-Петербургский государственный университет

УПРАВЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫМИ СИСТЕМАМИ ПО КРИТЕРИЮ РАСХОДА

Предлагаются методы нахождения оптимального управления в виде явной функции времени в постановках, где требуется погасить одну или несколько частотных компонент решения автономной линейной системы. В качестве минимизируемого функционала рассматривается «расход топлива» на классе кусочно-постоянных управлений с конечным фиксированным числом импульсов. Сформулированные в статье теоремы позволяют найти точки переключения упомянутых управлений либо в явной форме, либо с помощью численных методов.

управление линейными системами, оптимальное по расходу управление, кусочно-постоянное управление.

Введение

Оптимизация «по расходу» естественна в тех задачах, где требуется удерживать механическую или иную систему в окрестности положения равновесия в течение длительного времени. Возмущающие факторы время от времени отклоняют эту систему недопустимо далеко от положения равновесия и каждый раз требуется гасить эти отклонения, расходуя на это топливо или другие ограниченные ресурсы. Пока отклонения от положения равновесия малы, её управляемое движение можно моделировать автономными линейными дифференциальными уравнениями с управлением.

1 Постановка задачи оптимального управления по расходу

Предлагаемые в настоящей работе постановка и методы получены как обобщение на линейный случай произвольной размерности результатов Л. К. Бабаджанянца, Н. И. Голубевой и В. С. Новосёлова [1, 2] для задачи о гашении колебаний около центра масс спутника с быстрозакрученным маховиком.

Рассмотрим механическую или иную модель с управлением, описываемую уравнением

$$\frac{dx}{dt} = Ax + U(t) \qquad (1.1)$$

относительно вектор-функции $x(t) = (x_1, ..., x_n) \in R^n$ аргумента t при начальном условии

$$x(0) = x_0, \qquad (1.2)$$

где $x_0 = (x_{1_0}, ..., x_{n_0}) \in R^n$; $U(t) = (u_1, ..., u_n) \in R^n$; A – постоянная матрица размерности $(n \times n)$.

Компоненты u_i управления $U(t)$ предполагаются кусочно-постоянными функциями времени с конечным числом точек переключения, последняя из которых обозначается

символом T, и рассматриваются далее в следующем представлении:

$$u_k(t) = \sum_{i=1}^{2r_k} (-1)^{i+1} h_i^k H(t - t_i^k) + \\ + \sum_{i=1}^{2q_k} (-1)^i \tilde{h}_i^k H(t - \tilde{t}_i^k). \quad (1.3)$$

Здесь управление разбито на положительные ступени, направленные вверх, и отрицательные, направленные вниз. r_k – число положительных, q_k – отрицательных ступеней компоненты u_k управления U, а t_i^k и $\tilde{t}_i^k$ – моменты времени, соответствующие переключениям этих ступеней, причем все они лежат на промежутке $[0, T]$; h_i^k, $\tilde{h}_i^k$ – постоянные, причем $h_i^k = h_{i+1}^k$, $\tilde{h}_i^k = \tilde{h}_{i+1}^k$ при $i = 1, 3, 5\ldots$; $H(t)$ – функция Хевисайда единичного скачка:

$$H(t - t_i^k) = \begin{cases} 1, & t - t_i^k = 0, \\ 0, & t - t_i^k < 0. \end{cases}$$

При таком управлении решение задачи (1.1) будет суммой нескольких слагаемых, отвечающим тем или иным собственным значениям матрицы A. Слагаемое, отвечающее собственному значению k, будем называть частотной компонентой решения, отвечающей этому k.

В качестве минимизируемого функционала рассматривается величина

$$J = \sum_{k=1}^{n} \int_0^T |u_k(t)|\, dt, \quad (1.4)$$

которая называется функционалом типа «расход топлива», или просто функционалом расхода. Допустимым считается управление U вида (1.3), которое в конечный момент T обращает в ноль одну или несколько избранных частотных компонент решения. Обозначая сумму избранных компонент символом $\tilde{x}(t)$, запишем это условие:

$$\tilde{x}(T) = 0. \quad (1.5)$$

Ради краткости о выполнении условия (1.5) мы будем говорить также как о гашении избранных частотных компонент решения, или просто как о гашении избранных частот.

Постановка задачи следующая: при заданном числе импульсов допустимого управления найти точки переключения этого управления (включая точку T), удовлетворяющие необходимым условиям экстремума функционала расхода (1.4).

Такую постановку нельзя считать традиционной, поэтому стоит остановиться на мотивировках, которые оправдывают её естественность и необходимость в каких-то случаях.

Задача о гашении только одной или нескольких частотных компонент может возникнуть по самому существу прикладной проблемы или в связи со сложностью гасить сразу колебания с сильно различающимися по величине частотами и т. д. В целом она является более общей задачей, чем гашение всех компонент сразу. С другой стороны, оптимальное «по расходу» управление в различных других постановках, предполагающее гашение сразу всех компонент в некоторый фиксированный момент, существует отнюдь не всегда (см., например, [3]).

Кусочно-постоянные управления в конкретных практических задачах могут быть единственно приемлемым дешевым вариантом управления. Кроме того, такие управления оказываются оптимальными при решении многих задач в различных других постановках (см., например, [3, 4]).

Для решения рассматриваемой задачи мы предлагаем несколько теорем, которые в зависимости от собственных значений матрицы A позволяют находить оптимальное по расходу топлива управление $U(t)$ либо в явной форме, либо с помощью численных методов.

Если матрица A имеет несколько различных пар чисто мнимых или комплексных собственных значений, то соответствующие этим парам частоты можно гасить либо последовательно, либо вместе, используя для этого различные алгоритмы.

2 Теоремы

Представим полученные результаты в форме теорем.

Теорема 1

Пусть управляемое движение определяется задачей (1.1) и среди собственных значений матрицы *A* есть 2*m* комплексно-сопряженных некратных чисел $k_j = l_j \pm i\mu_j$, j = 1, 3, 5…, $2m-1$, ($2m \le n$). Тогда если допустимое управление вида (1.3) обращает в нуль величину $\tilde{x}(T) = (x(l_j \pm i\mu_j, T))$, то его точки переключения t_i^k, $\tilde{t}_i^k$, соответствующие необходимым условиям экстремума функционала (1.4), определяются совместным решением системы граничных условий

$$\begin{aligned} K_j &= y_{j_0}^{'} + \frac{1}{l^2+\mu^2}\sum_{k=1}^{n}(l_j c_{jk}^{'} + \mu_j c_{jk}^{*})F_{1j}^k + \\ &+(l_j c_{jk}^{*} - \mu_j c_{jk}^{'})F_{2j}^k = 0; \\ K_{j+1} &= y_{j_0}^{*} + \frac{1}{l^2+\mu^2}\sum_{k=1}^{n}(l_j c_{jk}^{*} - \mu_j c_{jk}^{'})F_{1j}^k - \\ &-(l_j c_{jk}^{'} + \mu_j c_{jk}^{*})F_{2j}^k = 0, \end{aligned} \tag{2.1}$$

где

$$\begin{aligned} F_{1j}^k &= \sum_{i=1}^{2r_k}(-1)^{i+1}h_i^k H(t-t_i^k)e^{-l_j t_i^k}\cos\mu_j t_i^k + \\ &+\sum_{i=1}^{2q_k}(-1)^i \tilde{h}_i^k H(t-\tilde{t}_i^k)e^{-l_j \tilde{t}_i^k}\cos\mu_j \tilde{t}_i^k; \\ F_2^k &= \sum_{i=1}^{2r_k}(-1)^{i+1}h_i^k H(t-t_i^k)e^{-l_j t_i^k}\sin\mu_j t_i^k + \\ &+\sum_{i=1}^{2q_k}(-1)^i \tilde{h}_i^k H(t-\tilde{t}_i^k)e^{-l_j \tilde{t}_i^k}\sin\mu_j \tilde{t}_i^k, \end{aligned} \tag{2.2}$$

и необходимых условий оптимальности

$$\begin{aligned} &\sum_{j=1}^{2m-1}\left[(\lambda_j c_{jk}^{'} + \lambda_{j+1}c_{jk}^{*})\cos\mu_j t_i^k\right]e^{-\alpha_j t_i^k} + \\ &+\sum_{j=1}^{2m-1}\left[(\lambda_j c_{jk}^{*} - \lambda_{j+1}c_{jk}^{'})\sin\mu_j t_i^k\right]e^{-\alpha_j t_i^k} = -1; \\ &\sum_{j=1}^{2m-1}\left[(\lambda_j c_{jk}^{'} + \lambda_{j+1}c_{jk}^{*})\cos\mu_j \tilde{t}_i^k\right]e^{-\alpha_j \tilde{t}_i^k} + \\ &+\sum_{j=1}^{2m-1}\left[(\lambda_j c_{jk}^{*} - \lambda_{j+1}c_{jk}^{'})\sin\mu_j \tilde{t}_i^k\right]e^{-\alpha_j \tilde{t}_i^k} = 1. \end{aligned} \tag{2.3}$$

Теорема 2

Пусть управляемое движение определяется задачей (1.1), а $k_{1,2} = l \pm i\mu$ – пара коплексно-сопряженных некратных собственных значений матрицы *A*. Тогда если допустимое управление вида (1.3) обращает в нуль величину $\tilde{x}(T) = (x(l+i\mu, T), x(l-i\mu, T))$, то его точки переключения t_i^k, $\tilde{t}_i^k$, соответствующие необходимым условиям экстремума функционала (1.4), определяются следующими формулами:

$$\tau_i^k = \mu t_i^k + \varphi_k; \quad \tilde{\tau}_i^k = \mu \tilde{t}_i^k + \varphi_k; \tag{2.4}$$

$$B_k = e^{-\nu\tau_i^k}\sin\tau_i^k; \quad -B_k = e^{-\nu\tilde{\tau}_i^k}\sin\tilde{\tau}_i^k; \tag{2.5}$$

$$\begin{aligned} \sin\varphi_k &= \pm(c_{1,k}^{'} + mc_{1,k}^{*})q^{-1}\left|c_{1,k}\right|^{-1}; \\ \lambda_1 B_k &= S_k; \quad S_k = \mp e^{-\nu\varphi_k}q^{-1}\left|c_{1,k}\right|^{-1}; \end{aligned} \tag{2.6}$$

$$\begin{aligned} K_1 &= y_{1_0}^{'} \pm (\mu - ml)(l^2+\mu^2)^{-1}q^{-1}\times \\ &\times\sum_{k=1}^{n}e^{\nu\varphi_k}Q_k\left|c_{1,k}\right| = 0, \end{aligned} \tag{2.7}$$

где $\nu = l/\mu$; $q = \sqrt{1+m^2}$; $m = (y_{1,0}^{*}\mu - y_{1,0}^{'}l)\times$ $\times(y_{1,0}^{*}l + y_{1,0}^{'}\mu)$;

$$\begin{aligned} Q_k &= \sum_{i=1}^{2r_k}(-1)^{i+1}h_i^k H(\tau-\tau_i^k)e^{-\nu\tau_i^k}\times \\ &\times\cos\tau_i^k + \sum_{i=1}^{2q_k}(-1)^i \tilde{h}_i^k H(\tau-\tilde{\tau}_i^k)e^{-\nu\tilde{\tau}_i^k}\cos\tilde{\tau}_i^k. \end{aligned}$$

Из уравнений (2.5) и (2.7) мы можем численно найти B_k и все значения t_i^k, $\tilde{t}_i^k$ и, зная их, по формулам (2.4) и (2.6) получить искомые значения t_i^k, $\tilde{t}_i^k$ и множители Лагранжа λ_1.

Теорема 3

Пусть управляемое движение определяется задачей (1.1), а $k = l$ – вещественное собственное значение матрицы *A*. Допустимое управление вида (1.3), обращающее в нуль величину $\tilde{x}(T) = (x(l,T))$ и удовлетворяющее необходимым условиям экстремума функционала (1.4), состоит не более чем из одной ступени – либо

положительной, либо отрицательной. Моментом включения этой ступени является момент $t = 0$, а момент выключения переключения t_2^k (либо $\tilde{t}_2^k$) определяется формулами

$$t_2^k = -\frac{1}{l}\ln\left(y_0 l\left[c_{1k}\sum_{k=1}^{n} h_1^k \right]^{-1}\right);$$
$$\tilde{t}_2^k = -\frac{1}{l}\ln\left(-y_0 l\left[c_{1k}\sum_{k=1}^{n} h_1^k \right]^{-1}\right). \quad (2.8)$$

Теорема 4

Пусть управляемое движение определяется задачей (1.1), а $k_{1,2} = l \pm i\mu$ — пара мнимых некратных собственных значений матрицы A. Тогда если допустимое управление вида (1.3) обращает в нуль величину $\tilde{x}(T) = (x(i\mu, T), x(-i\mu, T))$, то его точки переключения t_i^k, $\tilde{t}_i^k$, соответствующие необходимым условиям экстремума функционала (1.4), определяются следующими формулами:

$$t_i^k = \tilde{t}_i^k \pm \mu^{-1}\pi \pm 2\mu^{-1}\pi l;$$
$$t_i^k = \tilde{t}_{i+2}^k \pm 2\mu^{-1}\pi \pm 2\mu^{-1}\pi l; \quad (2.9)$$

$$t_1^k = t_k - \Delta_k; \quad t_2^k = t_k + \Delta_k;$$
$$t_k = \mu^{-1}\operatorname{arctg}\frac{(y_{1,0}^{'} c_{1,k}^{*} - y_{1,0}^{*} c_{1,k}^{'})}{(y_{1,0}^{'} c_{1,k}^{'} + y_{1,0}^{*} c_{1,k}^{*})} + \pi m_k; \quad (2.10)$$

$$\Delta_k = \mu^{-1}\arcsin \times$$
$$\times \frac{\sqrt{\lambda_1^2 (y_{1_0}^{'2} + y_{1_0}^{*2})(c_{1k}^{'2} + c_{1k}^{*2}) - y_{1_0}^{'2}}}{|\lambda_1|\sqrt{(y_{1_0}^{'2} + y_{1_0}^{*2})(c_{1k}^{'2} + c_{1k}^{*2})}} + 2\pi l; \quad (2.11)$$

$$(y_{1_0}^{'2} + y_{1_0}^{*2})\lambda_1 =$$
$$= -\frac{2}{\mu}\sum_{k=1}^{n}\sigma_k^{m_k}\left(\sum_{i=1}^{r_k} h_i^k + \sum_{i=1}^{q_k}\tilde{h}_i^k\right)\times \quad (2.12)$$
$$\times\sqrt{(y_{1_0}^{'2} + y_{1_0}^{*2})(c_{1k}^{'2} + c_{1k}^{*2})\lambda_1^2 - y_{1_0}^{'2}},$$

где $\sigma_k^{m_k} = (-1)^{m_k}\operatorname{sign}\ (y_{1,0}^{'} c_{1,k}^{*} - y_{1,0}^{*} c_{1,k}^{'}); l \in Z;$ $m_k = 0, 1, \ldots$

Замечание

Величина $2\Delta_k$ – это ширина ступени управления u_k, а t_k – ее средний момент. Из уравнения (2.12) можно найти множитель Лагранжа λ_1 и, воспользовавшись формулами (2.10), (2.11) при каждом k, вычислить точки переключения t_1^k, t_2^k, что дает возможность найти все остальные точки переключения управления при этом k по формулам (2.9).

Теоремы не содержат условий существования точек переключения управлений, определяемых этими формулами и/или уравнениями. Такие вопросы должны прорабатываться при написании соответствующих вычислительных алгоритмов и программ.

3 Алгоритмы гашения

Для доказательства представленных теорем приведем алгоритмы гашения различных частот в зависимости от типа собственных значений матрицы A. Будем рассматривать случай гашения одной избранной частотной составляющей решения системы (1.1).

3.1 Случай комплексных собственных значений

Сначала рассмотрим наиболее общий из трех возможных случай, доказывающий теорему 2. Пусть среди собственных значений матрицы A системы (1.1) есть пара комплексно-сопряженных $k_{1,2} = l \pm \mu i$, причем соответствующая этой паре подматрица жордановой формы диагональна.

Поставленную в п. 1 задачу решим в несколько шагов.

ШАГ 1. Разделим задачу (1.1), (1.2) на две задачи Коши, чтобы далее можно было ограничиться рассмотрением только одной из них. Для этого в задаче Коши (1.1), (1.2) произведем линейную замену:

$$x = B\xi, \quad (3.1)$$

где B – неособая матрица, а $\xi = (y, z) = (y_1, y_2, z_1, ..., z_{n-2}) = (\xi_1, ..., \xi_n)$. Постоянную матрицу B можно подобрать так, чтобы

$$B^{-1}AB = \begin{pmatrix} Y & 0 \\ 0 & Z \end{pmatrix};\ Y = \begin{pmatrix} l + i\mu & 0 \\ 0 & l - i\mu \end{pmatrix},$$

а Z – некоторая $(n-2)\times(n-2)$ матрица. Тогда уравнение (1.1) и условия (1.2) перейдут в следующие:

$$\dot{y} = Yy + V; \qquad y(0) = y_0; \qquad (3.2)$$

$$\dot{z} = Zz + W; \qquad z(0) = z_0, \qquad (3.3)$$

где $y_0 = Cx_0;\ z_0 = C_z x_0 = (z_{1_0}, ..., z_{n-2_0})$;

$$V = CU = (v_1, v_2);$$
$$W = C_z U = (w_1, ..., w_{n-2_0});$$
$$(V, W) = B^{-1}U;$$

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & \dots & c_{1n} \\ c_{2n} & \dots & c_{2n} \end{pmatrix};\quad C_z = \begin{pmatrix} c_{31} & \dots & c_{3n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & \dots & c_{nn} \end{pmatrix}.$$

Далее достаточно ограничиться решением задачи (3.2).

ШАГ 2. Выпишем решение задачи (3.2) с учетом структуры управления (1.3).

Согласно структуре матрицы Y, система (3.2) состоит из двух линейных неоднородных дифференциальных уравнений:

$$\dot{y}_1 = (l + i\mu)y_1 + v_1(t);$$
$$\dot{y}_2 = (l - i\mu)y_2 + v_2(t);$$

где $v_1(t) = \sum_{k=1}^{n} c_{1k}u_k(t);\ v_2(t) = \sum_{k=1}^{n} c_{2k}u_k(t)$

с начальными условиями

$$y_1(0) = y_{1_0} = \sum_{k=1}^{n} c_{1k}x_{k_0};\ y_2(0) = y_{2_0} = \sum_{k=1}^{n} c_{2k}x_{k_0}.$$

По формуле Коши решение этой системы имеет вид

$$y_1 = y_{1_0}e^{(l+i\mu)t} + e^{(l+i\mu)t}\int_0^t v_1(\tau)e^{-(l+i\mu)\tau}d\tau;$$

$$y_2 = y_{2_0}e^{(l-i\mu)t} + e^{(l-i\mu)t}\int_0^t v_2(\tau)e^{-(l-i\mu)\tau}d\tau.$$

Используя показательную форму комплексного числа, перепишем это решение следующим образом:

$$y_1 = (y_{1_0} + \int_0^t v_1(\tau)e^{-l\tau}(\cos\mu\tau - i\sin\mu\tau)d\tau)\times$$
$$\times e^{lt}(\cos\mu t + i\sin\mu t);$$

$$y_2 = (y_{2_0} + \int_0^t v_2(\tau)e^{-l\tau}(\cos\mu\tau + i\sin\mu\tau)d\tau)\times$$
$$\times e^{lt}(\cos\mu t - i\sin\mu t).$$

Далее, учитывая при вычислении интегралов структуру управления (1.3) и то, что $H(t - t_i^k) = 0$, $H(t - \tilde{t}_i^k) = 0$ при $t < t_i^k$, $t < \tilde{t}_i^k$, получим решение задачи (3.2) в виде

$$y_1 = \left\{ y_{1_0} + \frac{l - \mu i}{l^2 + \mu^2}\sum_{k=1}^{n} c_{1k}\left[F_1^k - iF_2^k\right]\right\}\times$$
$$\times e^{lt}\cos\mu t +$$
$$+\left\{ iy_{1_0} + i\frac{l - \mu i}{l^2 + \mu^2}\sum_{k=1}^{n} c_{1k}\left[F_1^k - iF_2^k\right]\right\}\times \qquad (3.4)$$
$$\times e^{lt}\sin\mu t - \frac{l - \mu i}{l^2 + \mu^2}\sum_{k=1}^{n} c_{1k}u_k;$$

$$y_2 = \left\{ y_{2_0} + \frac{l + \mu i}{l^2 + \mu^2}\sum_{k=1}^{n} c_{2k}\left[F_1^k + iF_2^k\right]\right\}\times$$
$$\times e^{lt}\cos\mu t -$$
$$-\left\{ iy_{2_0} + i\frac{l + \mu i}{l^2 + \mu^2}\sum_{k=1}^{n} c_{2k}\left[F_1^k + iF_2^k\right]\right\}\times$$
$$\times e^{lt}\sin\mu t - \frac{l + \mu i}{l^2 + \mu^2}\sum_{k=1}^{n} c_{21k}u_k,$$

где

$$F_1^k = \sum_{i=1}^{2r_k}(-1)^{i+1} h_i^k H(t-t_i^k)e^{-lt_i^k} \times \times\cos\mu t_i^k + \sum_{i=1}^{2q_k}(-1)^i \tilde{h}_i^k H(t-\tilde{t}_i^k)e^{-l\tilde{t}_i^k}\cos\mu\tilde{t}_i^k;$$
$$F_2^k = \sum_{i=1}^{2r_k}(-1)^{i+1} h_i^k H(t-t_i^k)e^{-lt_i^k} \times \times\sin\mu t_i^k + \sum_{i=1}^{2q_k}(-1)^i \tilde{h}_i^k H(t-\tilde{t}_i^k)e^{-l\tilde{t}_i^k}\sin\mu\tilde{t}_i^k. \quad (3.5)$$

ШАГ 3. Запишем граничные условия (1.5) и функционал (1.4) явно через точки переключения.

Чтобы решить поставленную задачу гашения колебания частоты μ (т. е. чтобы выполнялось условие (1.5) $\tilde{x}(T)=0$), мы должны потребовать, чтобы все выражения в фигурных скобках в формулах (3.4) были равны нулю после того, как отработают все двигатели, т. е. для $t > t_{2r_k}^k$, $t > t_{2q_k}^k$:

$$\left\{ y_{1_0} + \frac{l-\mu i}{l^2+\mu^2}\sum_{k=1}^{n} c_{1k}\left[F_1^k - iF_2^k\right]\right\} = 0,$$
$$\left\{ y_{2_0} + \frac{l+\mu i}{l^2+\mu^2}\sum_{k=1}^{n} c_{1k}\left[F_1^k + iF_2^k\right]\right\} = 0. \quad (3.6)$$

Разделим начальные данные y_{1_0}, y_{2_0} и коэффициенты матрицы C на действительные и мнимые части:

$$y_{1_0} = y_{1_0}^{'} + iy_{1_0}^{*};$$
$$y_{2_0} = y_{2_0}^{'} + iy_{2_0}^{*};$$
$$c_{1k} = c_{1k}^{'} + c_{1k}^{*};$$
$$c_{2k} = c_{2k}^{'} + c_{2k}^{*}. \quad (3.7)$$

После подстановки формул (3.7) в выражения (3.6) видно, что последние представляют собой пару комплексно-сопряженных чисел, и чтобы они были равны нулю, достаточно, чтобы в ноль обращались их действительные и мнимые части. Таким образом, из формул (3.6) вытекают следующие граничные условия:

$$K_1 = y_{1_0}^{'} + \frac{1}{l^2+\mu^2}\sum_{k=1}^{n}(lc_{1k}^{'} + \mu c_{1k}^{*})F_1^k + (lc_{1k}^{*} - \mu c_{1k}^{'})F_2^k = 0;$$
$$K_2 = y_{1_0}^{*} + \frac{1}{l^2+\mu^2}\sum_{k=1}^{n}(lc_{1k}^{*} - \mu c_{1k}^{'})F_1^k - (lc_{1k}^{'} + \mu c_{1k}^{*})F_2^k = 0. \quad (3.8)$$

С учетом структуры управления (1.3) запишем функционал (1.4):

$$J = \sum_{k=1}^{n}\left[\sum_{i=1}^{2r_k}(-1)^i h_i^k t_i^k + \sum_{i=1}^{2q_k}(-1)^i \tilde{h}_i^k \tilde{t}_i^k\right]. \quad (3.9)$$

Будем решать задачу минимизации функционала (3.9) при выполнении граничных условий (3.8).

ШАГ 4. Вводя множители Лагранжа λ_1 и λ_2, переходим к задаче на безусловный минимум относительно функционала R:

$$R = J + \lambda_1 K_1 + \lambda_2 K_2. \quad (3.10)$$

Функционал R – функция числовых параметров λ_1, λ_2 – множителей Лагранжа и t_i^k, $\tilde{t}_i^k$ – точек переключения управления, поэтому можно выписать необходимые условия оптимальности управления:

$$\frac{\partial R}{\partial t_i^k} = 0, \frac{\partial R}{\partial \tilde{t}_i^k} = 0, \frac{\partial R}{\partial \lambda_1} = 0, \frac{\partial R}{\partial \lambda_2} = 0. \quad (3.11)$$

Из первых двух равенств

$$(\lambda_1 c_{1k}^{'} + \lambda_2 c_{1k}^{*})\cos\mu t_i^k + (\lambda_1 c_{1k}^{*} - \lambda_2 c_{1k}^{'})\sin\mu t_i^k = -e^{lt_i^k};$$
$$(\lambda_1 c_{1k}^{'} + \lambda_2 c_{1k}^{*})\cos\mu\tilde{t}_i^k + (\lambda_1 c_{1k}^{*} - \lambda_2 c_{1k}^{'})\sin\mu\tilde{t}_i^k = e^{l\tilde{t}_i^k}. \quad (3.12)$$

Формулы (3.12) можно переписать в следующем виде:

$$\begin{aligned}&\pm\sqrt{(\lambda_1^2+\lambda_2^2)(c_{1k}^{'2}+c_{1k}^{*2})}\times\\&\times\sin(\mu t_i^k+\varphi_k)=-e^{lt_i^k};\\&\pm\sqrt{(\lambda_1^2+\lambda_2^2)(c_{1k}^{'2}+c_{1k}^{*2})}\times\\&\times\sin(\mu\tilde{t}_i^k+\varphi_k)=e^{l\tilde{t}_i^k},\end{aligned}\qquad(3.13)$$

где $\cos\varphi_k=\dfrac{\lambda_1 c_{1k}^{*}-\lambda_2 c_{1k}^{'}}{\pm\sqrt{(\lambda_1^2+\lambda_2^2)(c_{1k}^{'2}+c_{1k}^{*2})}};$

$$\sin\varphi_k=\frac{\lambda_1 c_{1k}^{'}+\lambda_2 c_{1k}^{*}}{\pm\sqrt{(\lambda_1^2+\lambda_2^2)(c_{1k}^{'2}+c_{1k}^{*2})}}.\qquad(3.14)$$

Примем следующие обозначения:

$$\tau_i^k=\mu t_i^k+\varphi_k;\ \tilde{\tau}_i^k=\mu\tilde{t}_i^k+\varphi_k;\ \nu=l/\mu;\qquad(3.15)$$

$$B_k=\mp\frac{e^{-\nu\phi_k}}{\sqrt{(\lambda_1^2+\lambda_2^2)(c_{1k}^{'2}+c_{1k}^{*2})}}.\qquad(3.16)$$

Теперь уравнения (3.13) можно представить так:

$$\sin\tau_i^k=B_k e^{\nu\tau_i^k};\ \sin\tilde{\tau}_i^k=-B_k e^{\nu\tilde{\tau}_i^k}.\qquad(3.17)$$

Граничные условия (3.8) в обозначениях (3.15), (3.16) в зависимости от знака B_k будут следующими:

$$\begin{aligned}&K_1=y_{1_0}^{'}\pm\frac{1}{l^2+\mu^2}\sum_{k=1}^{n}e^{\nu\varphi_k}\times\\&\times\Big[(lc_{1k}^{'}+\mu c_{1k}^{*})(Q_k\cos\varphi_k+P_k\sin\varphi_k)+\\&+(lc_{1k}^{*}-\mu c_{1k}^{'})(P_k\cos\varphi_k-Q_k\sin\varphi_k)\Big]=0;\\&K_2=y_{1_0}^{*}\pm\frac{1}{l^2+\mu^2}\sum_{k=1}^{n}e^{\nu\varphi_k}\times\\&\times\Big[(lc_{1k}^{*}-\mu c_{1k}^{'})(Q_k\cos\varphi_k+P_k\sin\varphi_k)-\\&-(lc_{1k}^{'}+\mu c_{1k}^{*})(P_k\cos\varphi_k-Q_k\sin\varphi_k)\Big]=0,\end{aligned}\qquad(3.18)$$

где

$$\begin{aligned}&Q_k=\sum_{i=1}^{2r_k}(-1)^{i+1}h_i^k H(\tau-\tau_i^k)e^{-\nu\tau_i^k}\times\\&\times\cos\tau_i^k+\sum_{i=1}^{2q_k}(-1)^i\tilde{h}_i^k H(\tau-\tilde{\tau}_i^k)e^{-\nu\tilde{\tau}_i^k}\cos\tilde{\tau}_i^k;\\&P_k=\sum_{i=1}^{2r_k}(-1)^{i+1}h_i^k H(\tau-\tau_i^k)e^{-\nu\tau_i^k}\times\\&\times\sin\tau_i^k+\sum_{i=1}^{2q_k}(-1)^i\tilde{h}_i^k H(\tau-\tilde{\tau}_i^k)e^{-\nu\tilde{\tau}_i^k}\sin\tilde{\tau}_i^k.\end{aligned}\qquad(3.19)$$

Из формул (3.17) следует, что

$$B_k=e^{-\nu\tau_i^k}\sin\tau_i^k;\ -B_k=e^{-\nu\tilde{\tau}_i^k}\sin\tilde{\tau}_i^k.\qquad(3.20)$$

Учитывая выражения (3.20), граничные условия (3.18) перепишем в виде

$$\begin{aligned}&K_1=y_{1_0}^{'}\pm\frac{1}{l^2+p^2}\sum_{k=1}^{n}e^{\nu\phi_k}Q_k\times\\&\times\begin{bmatrix}(lc_{1k}^{'}+pc_{1k}^{*})\cos\varphi_k-\\-(lc_{1k}^{*}-pc_{1k}^{'})\sin\varphi_k\end{bmatrix}=0;\\&K_2=y_{1_0}^{*}\pm\frac{1}{l^2+p^2}\sum_{k=1}^{n}e^{\nu\phi_k}Q_k\times\\&\times\begin{bmatrix}(lc_{1k}^{*}-pc_{1k}^{'})\cos\varphi_k+\\+(lc_{1k}^{'}+pc_{1k}^{*})\sin\varphi_k\end{bmatrix}=0.\end{aligned}\qquad(3.21)$$

Чтобы представить граничные условия (3.21) как функции от τ_i^k, τ_i^k, λ_1, λ_2, используем выражения (3.14) для $\cos\varphi_k$ и $\sin\varphi_k$:

$$\begin{aligned}&K_1=y_{1_0}^{'}\pm\frac{\lambda_1\mu-\lambda_2 l}{(l^2+\mu^2)\sqrt{\lambda_1^2+\lambda_2^2}}\times\\&\times\sum_{k=1}^{n}e^{\nu\varphi_k}Q_k\sqrt{c_{1k}^{'2}+c_{1k}^{*2}}=0;\\&K_2=y_{1_0}^{*}\pm\frac{\lambda_1 l+\lambda_2\mu}{(l^2+\mu^2)\sqrt{\lambda_1^2+\lambda_2^2}}\times\\&\times\sum_{k=1}^{n}e^{\nu\varphi_k}Q_k\sqrt{c_{1k}^{'2}+c_{1k}^{*2}}=0.\end{aligned}\qquad(3.22)$$

Отсюда следует, что

$$\lambda_2 = m\lambda_1;\ \ m = \frac{y^*_{1_0}\mu - y'_{1_0} l}{y^*_{1_0} l + y'_{1_0}\mu}. \qquad (3.23)$$

Для нахождения угла φ_k подставим полученное соотношение (3.23) в выражение для $\sin\varphi_k$ (3.14):

$$\sin\varphi_k = \frac{c'_{1k} + mc^*_{1k}}{\pm\sqrt{(1+m^2)(c'^2_{1k} + c^{*2}_{1k})}}. \qquad (3.24)$$

Таким образом, угол φ_k можно найти из начальных данных задачи. Зависимость B_k от λ_1 выражается следующим образом:

$$B_k = \frac{S_k}{\lambda_1};\ \ S_k = \mp\frac{e^{-\nu\varphi_k}}{\sqrt{(1+m^2)(c'^2_{1k} + c^{*2}_{1k})}}. \qquad (3.25)$$

Принимая во внимание формулу (3.23), можно увидеть, что достаточно потребовать выполнения всего лишь одного из граничных условий (3.22), которое с учетом (3.23) будет выглядеть так:

$$K_1 = y'_{1_0} \pm \frac{\mu - ml}{(l^2+\mu^2)\sqrt{1+m^2}} \times \\ \times\sum_{k=1}^{n} e^{\nu\varphi_k} Q_k \sqrt{c'^2_{1k} + c^{*2}_{1k}} = 0. \qquad (3.26)$$

Из уравнений (3.17) и (3.26) мы можем численно найти B_k и все значения τ_i^k, τ_i^k и, зная их, по формулам (3.15), (3.25) и (3.23) получить искомые значения t_i^k, $\tilde{t}_i^k$ и множители Лагранжа.

Что и требовалось доказать.

Доказательство теоремы 1 следует из формул (3.5), (3.8) и (3.12) приведенного алгоритма.

Ниже приводятся два частных варианта рассмотренного выше случая, доказывающие теоремы 3, 4 и позволяющие получить явные формулы для точек переключения искомого управления.

3.2 Случай вещественных собственных значений

Для доказательства теоремы 3 предположим, что среди собственных чисел матрицы A есть вещественное l, причем это значение не является кратным. Поставленную в п. 1 задачу для этого случая решим, следуя изложенному выше алгоритму, в несколько шагов.

ШАГ 1. Делая линейную замену (3.1) и разделяя задачу (1.1), (1.2) на две задачи Коши, получаем необходимую к решению задачу (3.2) в виде

$$\dot{y} = Yy + v,\ \ y(0) = y_0,\ \ Y = (l), \\ y_0 = Cx_0,\ \ v = CU,\ \ C = (c_{11}\ldots c_{1n}). \qquad (3.27)$$

ШАГИ 2, 3. Граничное условие (3.8) в данном случае имеет вид

$$K = y_0 + \frac{1}{l}\sum_{k=1}^{n} c_{1k} F^k = 0; \qquad (3.28)$$

где $y_0 = \sum_{k=1}^{n} c_{1k} x_{k_0}$;

$$F^k = \sum_{i=1}^{2r_k} (-1)^{i+1} h_i^k H(t - t_i^k) e^{-lt_i^k} + \\ + \sum_{i=1}^{2q_k} (-1)^i \tilde{h}_i^k H(t - \tilde{t}_i^k) e^{-l\tilde{t}_i^k}. \qquad (3.29)$$

Формула (3.9) описывает функционал качества J как явную функцию точек переключения. Далее будем решать задачу минимизации функционала (3.9) при выполнении граничного условия (3.28).

ШАГ 4. Переходя к задаче на безусловный минимум, из первых двух необходимых условий оптимальности управления (2.11) для функционала R получаем:

$$1 + \lambda c_{1k} e^{-lt_i^k} = 0, \quad 1 - \lambda c_{1k} e^{-l\tilde{t}_i^k} = 0. \qquad (3.30)$$

Отсюда следует, что

$$e^{-lt_i^k} = -1/\lambda c_{1k};\ e^{-l\tilde{t}_i^k} = 1/\lambda c_{1k}. \quad (3.31)$$

Очевидно, что оба равенства (3.31) не могут выполняться одновременно. Из этого можно сделать вывод, что включаются либо только положительные импульсы, либо только отрицательные.

Рассмотрим первый вариант, т. е. предположим, что включаются только положительные импульсы. В этом случае выполняется первое из равенств (3.31). Подставляя его в граничное условие (3.28), мы видим, что существует только одна точка переключения, которая, очевидно, является точкой выключения импульса управления. Точкой же включения управления является момент времени $t = 0$. Тогда из (3.28) следует, что

$$\lambda = -(y_0 l)^{-1} \sum_{k=1}^{n} h_1^k,$$

а с учетом этого из (3.31) получаем формулу (2.8) для нахождения t_2^k.

Аналогично для случая, когда включаются только отрицательные импульсы, получим для множителя Лагранжа то же выражение. Учитывая это, находим из (3.31) точку выключения отрицательного импульса.

3.3 Случай чисто мнимых собственных значений

Теперь для доказательства теоремы 4 предположим, что вещественная часть комплексно-сопряженных собственных чисел $k_{1,2}$ матрицы A, рассмотренных в п. 3.1, равна нулю, т. е. $l = 0$. Тогда $k_{1,2} = \pm i\mu$ – чисто мнимые собственные значения. Этой паре соответствует колебание частоты μ. Для оптимального по «расходу» гашения этой частоты приведенный алгоритм позволяет найти точки переключения управления $U(t)$ в явном виде.

Проделав, согласно предложенному в п. 3.1 алгоритму, шаги 1–3, на шаге 4 получаем формулы (3.12) в следующем виде:

$$\begin{gathered}(\lambda_1 c_{1k}^* - \lambda_2 c_{1k}^{'})\sin\mu t_i^k + \\ + (\lambda_1 c_{1k}^{'} + \lambda_2 c_{1k}^*)\cos\mu t_i^k = -1; \\ (\lambda_1 c_{1k}^* - \lambda_2 c_{1k}^{'})\sin\mu \tilde{t}_i^k + \\ + (\lambda_1 c_{1k}^{'} + \lambda_2 c_{1k}^*)\cos\mu \tilde{t}_i^k = 1.\end{gathered} \quad (3.32)$$

Отсюда следует, что

$$\begin{gathered}t_i^k = \tilde{t}_i^k \pm \pi/\mu \pm 2\pi l/\mu; \\ t_i^k = t_{i+2}^k \pm 2\pi/\mu \pm 2\pi l/\mu;\ l \in Z.\end{gathered} \quad (3.33)$$

Учитывая это, последние два равенства (3.11)

$$\begin{gathered}K_1 = y_{1_0}^{'} + \frac{1}{\mu}\sum_{k=1}^{n} h_k (r_k + q_k)\times \\ \times [c_{1k}^*(\cos\mu t_1^k - \cos\mu t_2^k) - \\ - c_{1k}^{'}(\sin\mu t_1^k - \sin\mu t_2^k) = 0; \\ K_2 = y_{1_0}^* - \frac{1}{\mu}\sum_{k=1}^{n} h_k (r_k + q_k)\times \\ \times [c_{1k}^{'}(\cos\mu t_1^k - \cos\mu t_2^k) + \\ + c_{1k}^*(\sin\mu t_1^k - \sin\mu t_2^k) = 0.\end{gathered} \quad (3.34)$$

Здесь t_1^k – момент первого включения компоненты управления для k-й координаты, t_2^k – момент её первого выключения. Введем обозначения: $2\Delta_k$ – ширина ступени управления u_k; t_k – ее средний момент, т. е.

$$t_1^k = t_k - \Delta_k;\ t_2^k = t_k + \Delta_k. \quad (3.35)$$

Тогда из (3.9) и (3.34) получаем функционал и граничные условия:

$$M = 2\sum_{k=1}^{n}\left(\sum_{i=1}^{r_k} h_i^k + \sum_{i=1}^{q_k} \tilde{h}_i^k\right)\Delta_k; \quad (3.36)$$

$$\begin{gathered}L_1 = y_{1_0}^{'} + \frac{2}{\mu}\sum_{k=1}^{n}\left(\sum_{i=1}^{r_k} h_i^k + \sum_{i=1}^{q_k} \tilde{h}_i^k\right)\times \\ \times (c_{1k}^* \sin\mu t_k + c_{1k}^{'}\cos\mu t_k)\sin\mu\Delta_k = 0; \\ L_2 = y_{1_0}^* - \frac{2}{\mu}\sum_{k=1}^{n}\left(\sum_{i=1}^{r_k} h_i^k + \sum_{i=1}^{q_k} \tilde{h}_i^k\right)\times \\ \times (c_{1k}^{'} \sin\mu t_k - c_{1k}^* \cos\mu t_k)\sin\mu\Delta_k = 0.\end{gathered} \quad (3.37)$$

Величины M, L_1, L_2 – функции числовых параметров t_k и Δ_k, поэтому исходная задача оптимизации свелась к задаче безусловной минимизации функции $S = M + \lambda_1 L_1 + \lambda_2 L_2$ по всем переменным t_k, Δ_k, λ_1, λ_2.

Приравнивая нулю производные S по t_k и Δ_k, получим:

$$\begin{aligned}&[(\lambda_1 c_{1k}^{*} - \lambda_2 c_{1k}^{'})\sin\mu t_k + (\lambda_1 c_{1k}^{'} + \lambda_2 c_{1k}^{*})\times\\ &\qquad\times\cos\mu t_k]\cos\mu\Delta_k = -1;\\ &[(\lambda_1 c_{1k}^{'} + \lambda_2 c_{1k}^{*})\sin\mu t_k - (\lambda_1 c_{1k}^{*} - \lambda_2 c_{1k}^{'})\times\\ &\qquad\times\cos\mu t_k]\sin\mu\Delta_k = 0.\end{aligned} \tag{3.38}$$

Таким образом, величины t_k, Δ_k и λ_1, λ_2 должны быть найдены из уравнений (3.37), (3.38).

ШАГ 5. Представим $\cos\mu t_k$, $\cos\mu\Delta_k$, $\sin\mu t_k$, $\sin\mu\Delta_k$ как функции от λ_1, λ_2. Для этого перепишем уравнения (3.38) в виде:

$$\begin{aligned}&(b_k\sin\mu t_k + a_k\cos\mu t_k)\cos\mu\Delta_k = -1;\\ &(a_k\sin\mu t_k - b_k\cos\mu t_k)\sin\mu\Delta_k = 0;\end{aligned} \tag{3.39}$$

где

$$a_k = \lambda_1 c_{1k}^{'} + \lambda_2 c_{1k}^{*};\ \ b_k = \lambda_1 c_{1k}^{*} - \lambda_2 c_{1k}^{'}. \tag{3.40}$$

Возможны два варианта решения системы (3.39):

1) $\sin\mu\Delta_k = 0 \Rightarrow \cos\mu\Delta_k = \pm 1$. Это означает либо отсутствие управления ($\Delta_k = 0$), либо, в силу (3.33), его непрерывность ($\Delta_k = \pi/\mu$), т. е. отсутствие переключений. Тогда формулы для определения $\sin\mu t_k$ и $\cos\mu t_k$ следующие:

$$\begin{aligned}\sin\mu t_k &= \frac{\mp b_k \mp a_k\sqrt{a_k^2 + b_k^2 - 1}}{a_k^2 + b_k^2};\\ \cos\mu t_k &= \frac{\mp a_k \pm b_k\sqrt{a_k^2 + b_k^2 - 1}}{a_k^2 + b_k^2};\end{aligned} \tag{3.41}$$

2) $\sin\mu\Delta_k \neq 0$, тогда $\cos\mu\Delta_k = \alpha_k \neq 0$, а $\sin\mu t_k$ и $\cos\mu t_k$ представляются формулами

$$\begin{aligned}\sin\mu t_k &= \frac{-b_k}{\alpha_k(a_k^2 + b_k^2)};\\ \cos\mu t_k &= \frac{-a_k}{\alpha_k(a_k^2 + b_k^2)};\end{aligned} \tag{3.42}$$

$$\begin{aligned}\sin\mu\Delta_k &= \sqrt{1-\alpha_k} = \sqrt{\frac{a_k^2 + b_k^2 - 1}{a_k^2 + b_k^2}};\\ \cos\mu\Delta_k &= \alpha_k = \sqrt{\frac{1}{a_k^2 + b_k^2}}.\end{aligned} \tag{3.43}$$

ШАГ 6. При подстановке формул (3.42), (3.43) в граничные условия (3.37) мы находим соотношения для λ_1 и λ_2:

$$\lambda_2 = \frac{y_{1_0}^{*}}{y_{1_0}^{'}}\lambda_1. \tag{3.44}$$

Из второго уравнения (3.39) в зависимости от промежутка начала управления однозначно определяется величина t_k:

$$\mu t_k = b_k / a_k \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t_k = \mu^{-1}\operatorname{arctg}\frac{b_k}{a_k} + \pi m_k;\ \ m_k \in Z.$$

Тогда

$$\sin\mu t_k = \frac{\mu t_k}{\pm\sqrt{1 +^2 \mu t_k}};\ \ \cos\mu t_k = \frac{1}{\pm\sqrt{1 +^2 \mu t_k}}.$$

Знак перед корнем зависит от выбора момента начала управления, т. е. от значения m_k: если m_k четное, то $\sin\mu\Delta_k > 0$, иначе $\sin\mu\Delta_k < 0$.

Принимая во внимание соотношение (3.44) и (3.38), получаем

$$\operatorname{tg}\mu t_k = \frac{(y_{1,0}^{'}c_{1,k}^{*} - y_{1,0}^{*}c_{1,k}^{'})}{(y_{1,0}^{'}c_{1,k}^{'} + y_{1,0}^{*}c_{1,k}^{*})};$$

$$\sin\mu t_k = \frac{y_{1_0}^{'}c_{1k}^{*} - y_{1_0}^{*}c_{1k}^{'}}{\sigma_k^{m_k}\sqrt{(y_{1_0}^{'2} + y_{1_0}^{*2})(c_{1k}^{'2} + c_{1k}^{*2})}}; \tag{3.45}$$

$$\cos \mu t_k = \frac{y'_{1_0} c'_{1k} + y^*_{1_0} c^*_{1k}}{\sigma_k^{m_k} \sqrt{(y'^2_{1_0} + y^{*2}_{1_0})(c'^2_{1k} + c^{*2}_{1k})}},$$

где $\sigma_k^{m_k} = (-1)^{m_k} \operatorname{sign}(y'_{1,0} c^*_{1,k} - y^*_{1,0} c'_{1,k})$; $m_k = 0, 1,...$

Из первого уравнения (3.39) $\cos \mu \Delta_k = -1/(b_k \sin \mu t_k + a_k \cos \mu t_k)$. Согласно (3.33), $2\mu\Delta_k < \pi$, следовательно, $\cos\mu\Delta_k > 0$, $\sin\mu\Delta_k > 0$. С учетом (3.43) и (3.44) запишем:

$$\cos \mu \Delta_k = -\frac{\sigma_k^{m_k} y'_{1_0}}{|\lambda_1| \sqrt{(y'^2_{1_0} + y^{*2}_{1_0})(c'^2_{1k} + c^{*2}_{1k})}};$$

$$\sin \mu \Delta_k = \frac{\sqrt{\lambda_1^2 (y'^2_{1_0} + y^{*2}_{1_0})(c'^2_{1k} + c^{*2}_{1k}) - y'^2_{1_0}}}{|\lambda_1| \sqrt{(y'^2_{1_0} + y^{*2}_{1_0})(c'^2_{1k} + c^{*2}_{1k})}}. \quad (3.46)$$

Подставляя (3.45), (3.46) в граничные условия (3.37), получаем уравнение для нахождения λ_1 (2.12).

Таким образом, управление колебательным движением системы *n*-го порядка с помощью ступенчатой управляющей функции представляет собой периодический процесс, где для каждой из составляющих управления u_k через половину периода колебаний рассматриваемой частоты чередуются положительные и отрицательные ступени, длительность которых определяется формулами (3.46), а моменты включений управления – формулами (3.35) и (3.45). Количество этих ступеней $(r_k + q_k)$ зависит от времени, отведенного для решения задачи гашения. При увеличении времени гашения *t* возрастает число ступеней управления $((r_k + q_k) \to \infty)$, уменьшается ширина ступени $(\Delta_k \to 0)$, что влечет за собой уменьшение функционала *M*, т. е. теоретически оптимальным по расходу топлива без ограничения времени оказывается импульсный режим. Реальный режим будет тем ближе к идеальному теоретическому, чем меньше величина ступени управления $2\Delta_k$.

Заключение

Сформулированные в статье теоремы позволяют найти оптимальное по «расходу» управление в виде явной функции времени в постановках, где требуется погасить одну или несколько частотных компонент решений линейной системы с постоянными коэффициентами. Предлагаемые здесь результаты, основанные на работах [5, 6], могут теперь применяться не только в механике управляемого движения, но и в любой задаче, которую можно описать автономной системой обыкновенных дифференциальных уравнений с управлением.

Библиографический список

1. **Оптимальное** демпфирование быстрых линейных колебаний стационарного ИСЗ с маховиком / Л. К. Бабаджанянц, Н. И. Голубева, В. С. Новосёлов // Проблемы механики управляемого движения. – Вып. 3. – Пермь. – 1973. – С. 18–25.

2. **Энергетически** оптимальное демпфирование свободных боковых колебаний стационарного ИСЗ с маховиком / Л. К. Бабаджанянц, Н. И. Голубева, В. С. Новосёлов // Проблемы механики управляемого движения. – Вып. 3. – Пермь. – 1973. – С. 26–32.

3. **Оптимальное** управление / М. Атанс, П. Фалб. – Москва : Машиностроение, 1968. – 764 с.

4. **Математическая** теория оптимальных процессов / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко. – Москва : Наука ; Гл. ред. физ.-мат. лит-ры, 1983. – 392 с.

5. **Управление** по критерию расхода в механических системах / Л. К. Бабаджанянц, И. Ю. Потоцкая. – Санкт-Петербург : СПбГУ, 2003. – 137 с. – [Электронный ресурс]. – URL : http://www.apmath.spbu.ru/ru/staff/babadzhanyants/publ/publ2.pdf.

6. **Управление** вращением спутника по критерию расхода / Л. К. Бабаджанянц, И. Ю. Потоцкая, Ю. Ю. Пупышева // Устойчивость и процессы управления : сб. тр. междунар. конф. – Т. 2. – Санкт-Петербург : СПбГУ ; НИИ ВМ и ПУ ; ВВМ, 2005. – С. 554–567.

УДК 624.82/85 (075.8)

Г. И. Богданов
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ГЛАВНЫХ БАЛОК ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ РАЗВОДНЫХ МОСТОВ РАСКРЫВАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ У ОСЕЙ ВРАЩЕНИЯ

Рассматриваются результаты натурных обследований пролетных строений разводных мостов раскрывающейся системы, направленных на исследование состояния главных балок у осей вращения. Описываются характерные дефекты рассматриваемых конструкций в виде трещин сварных швов крепления радиальных ребер жесткости к трубчатым втулкам у осей вращения. Приводятся результаты измерения напряжений в радиальных ребрах жесткости у осей вращения.

разводной мост, раскрывающаяся система разводных мостов, крыло, ось вращения, ребро жесткости, трещины, напряжения.

Ведение

Конструкция и работа разводных мостов раскрывающейся системы входят в число наиболее сложных систем разводных мостов. Это в полной мере относится к раскрывающимся мостам с разгруженными осями вращения, когда в наведенном положении крыло опирается на положительные опорные части и физические оси вращения разгружены, а в процессе разводки наоборот – положительные опорные части разгружены, а вся нагрузка от крыла воспринимается осями вращения.

Независимо от способа разгрузки осей вращения положительные опорные части, по характеру работы являющиеся неподвижными, могут быть выполнены в виде либо стальных опорных частей, близкими по конструкции к неподвижным опорным частям неразводных мостов, либо качающихся стоек, установленных на одной вертикали с осями вращения.

В настоящее время основным способом разгрузки осей вращения стал способ с опиранием крыльев разводного пролетного строения на качающиеся стойки, установленные на одной вертикали с осями вращения (рис. 1).

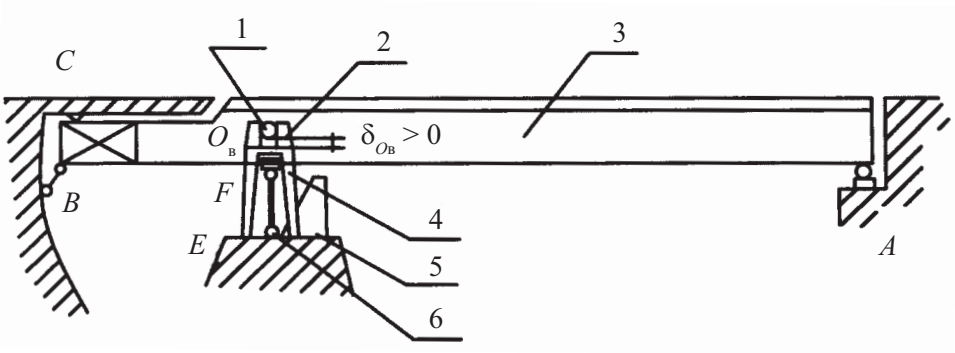


Рис. 1. Разводное пролетное строение раскрывающейся системы с разгруженной осью вращения и опиранием в наведенном положении на качающиеся стойки:
1 – ось вращения; 2 – вертикальные направляющие; 3 – крыло разводного пролетного строения; 4 – опорная стойка (рама); 5 – упор; 6 – качающаяся стойка

В такой конструкции главные балки крыла 3 разводного пролетного строения в наведенном положении опираются на качающиеся стойки 6, при этом между осью вращения 1 и стойкой (рамой) 4, на которую опирается ось вращения каждой балки, имеется зазор $\delta_{Ов} > 0$. Так как стойки шарнирно опираются на опору разводного пролета, а на стойки, в свою очередь, также шарнирно опираются главные балки крыла, для предотвращения продольных перемещений крыла на основании (опорных подушках) подшипников оси вращения установлены направляющие 2, которые обеспечивают только вертикальные перемещения оси вращения. Способ разгрузки осей вращения с помощью качающихся стоек впервые в отечественной практике был применен на мосту Александра Невского, а затем и на строившихся или реконструировавшихся мостах, в том числе на Володарском мосту, введенном в эксплуатацию после реконструкции в 1993 г. [1–3].

Так как при движении пространственное положение крыла изменяется при неизменном направлении силы тяжести, напряженно-деформированное состояние главных балок зависит от положения крыла в каждый момент времени. При этом в отдельных зонах конструкции в зависимости от угла подъема крыла могут изменяться и изменяются как величина, так и знаки напряжений [4, 5]. Это относится прежде всего к элементам главных балок крыла у осей вращения.

1 Особенности конструкции главных балок крыльев раскрывающихся мостов у осей вращения

Оси вращения прикрепляют к стенкам главных балок таким образом, чтобы при монтаже была возможность выверки и регулировки их положения (рис. 2).

Это достигается устройством в стенке балки 2 круглого отверстия для пропуска с некоторым припуском оси вращения 8. После регулировки высотного и планового положения ось фиксируется с помощью двух кольцевых

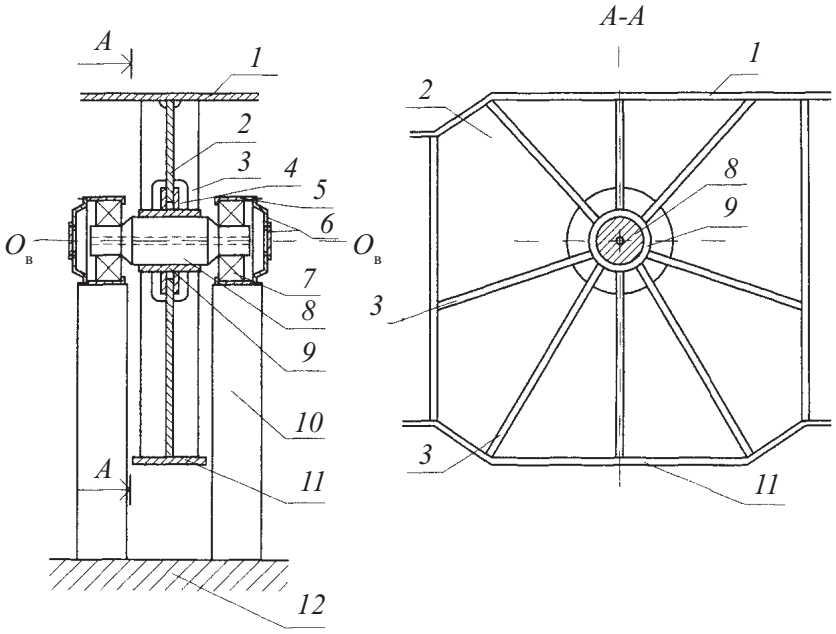


Рис. 2. Конструкция узла опирания главных балок на оси вращения:
1 – плита проезжей части; 2 – стенка главной балки; 3 – радиальное ребро жесткости;
4 – кольцевая диафрагма; 5 – корпус подшипника оси вращения; 6 – крышка;
7 – подшипник оси вращения; 8 – ось вращения; 9 – трубчатая втулка; 10 – стойка;
11 – нижний пояс главной балки; 12 – опора

диафрагм 4, устанавливаемых с обеих сторон стенки балки и привариваемых к стенке и трубчатой втулке 9, устанавливаемой с целью предотвращения наложения сварных швов непосредственно на металл оси вращения. В некоторых случаях приварка осуществляется непосредственно к оси вращения, при этом трубчатая втулка не требуется.

Так как в процессе движения пространственное положение крыла и направление опорной реакции меняются, стенка балки у оси вращения подкрепляется установкой радиальных ребер жесткости 3, привариваемых к упоминавшейся выше трубчатой втулке 9, стенке балки 2 и покрывающему листу ортотропной плиты 1. Схема расположения радиальных (в том числе вертикальных) ребер жесткости определяется при проектировании расчетом устойчивости стенки. По концам ось вращения 8 опирается на подшипники 7, устанавливаемые на стойках 10.

2 Особенности физического состояния элементов главных балок у осей вращения

Многочисленные обследования разводных пролетных строений мостов раскрывающейся системы позволили выявить характерный дефект таких конструкций в виде разрушения (трещины) сварных швов крепления радиальных ребер жесткости к трубчатой втулке оси вращения [3]. Трещины начинаются с торца ребер жесткости и распространяются на различную длину. В одних случаях трещины распространяются на всю длину шва (рис. 3), в других отмечены только на начальном участке ребра, где возникает и откуда начинается рост трещин (рис. 4). Трещины могут располагаться в ребрах, расположенных как с одной стороны стенки главной балки, так у двух симметрично установленных ребер по обе стороны стенки балки.

В качестве примера на рис. 5–8 показаны трещины в сварных швах крепления радиальных ребер жесткости, выявленных при обследовании большого городского разводного моста раскрывающейся системы с величиной разводного пролета 51,5 м.

3 Исследование положения геометрической оси вращения и характера опирания крыла на положительные опорные части

Опирание балочных пролетных строений на опорные части априорно предполагает, что все угловые перемещения опорных сечений

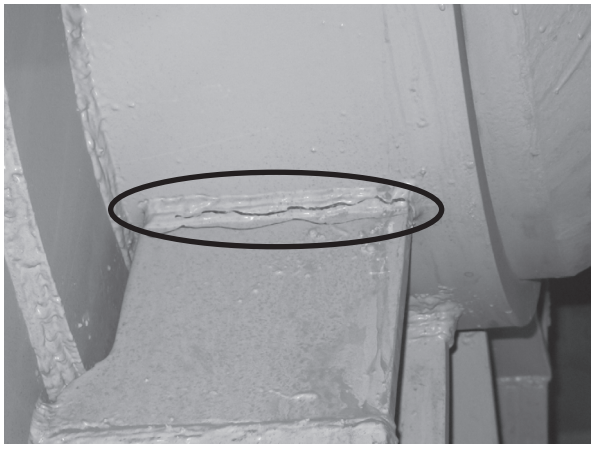


Рис. 3. Характерный вид полного разрушения сварного шва крепления радиального ребра жесткости к трубчатой втулке оси вращения

Рис. 4. Трещина на начальном участке сварного шва крепления радиального ребра жесткости к трубчатой втулке оси вращения

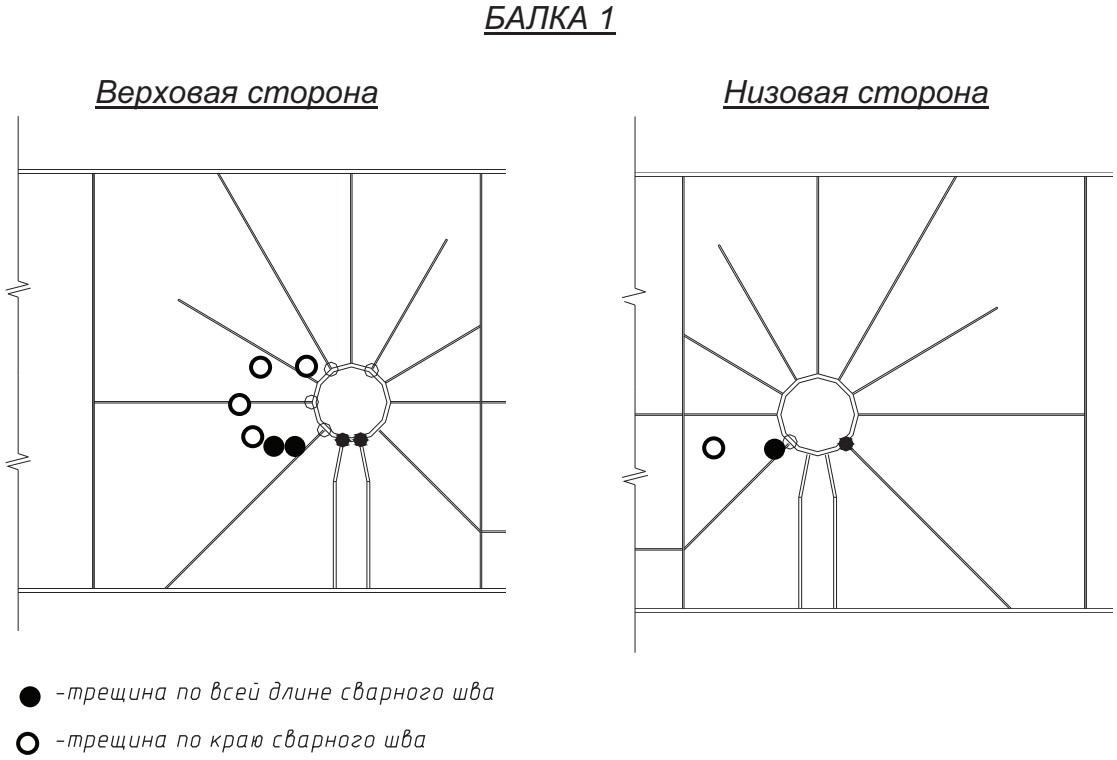


Рис. 5. Схема трещин у главной балки Б1

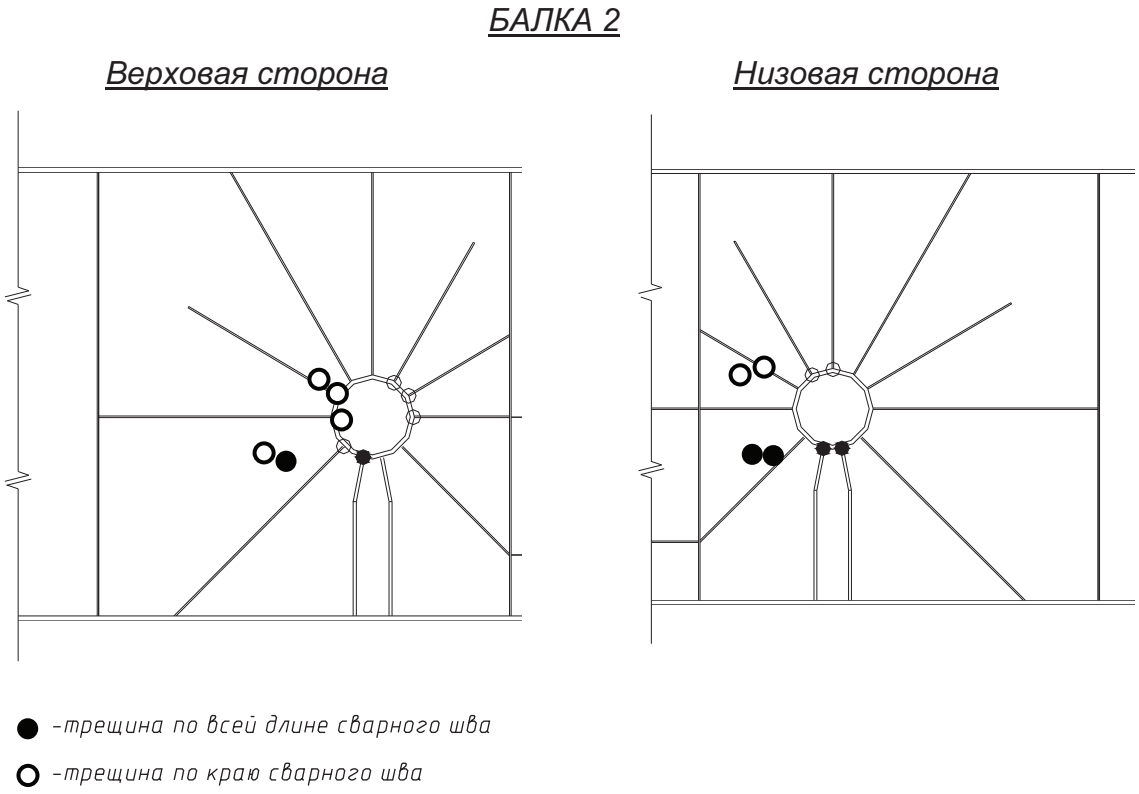


Рис. 6. Схема трещин у главной балки Б2

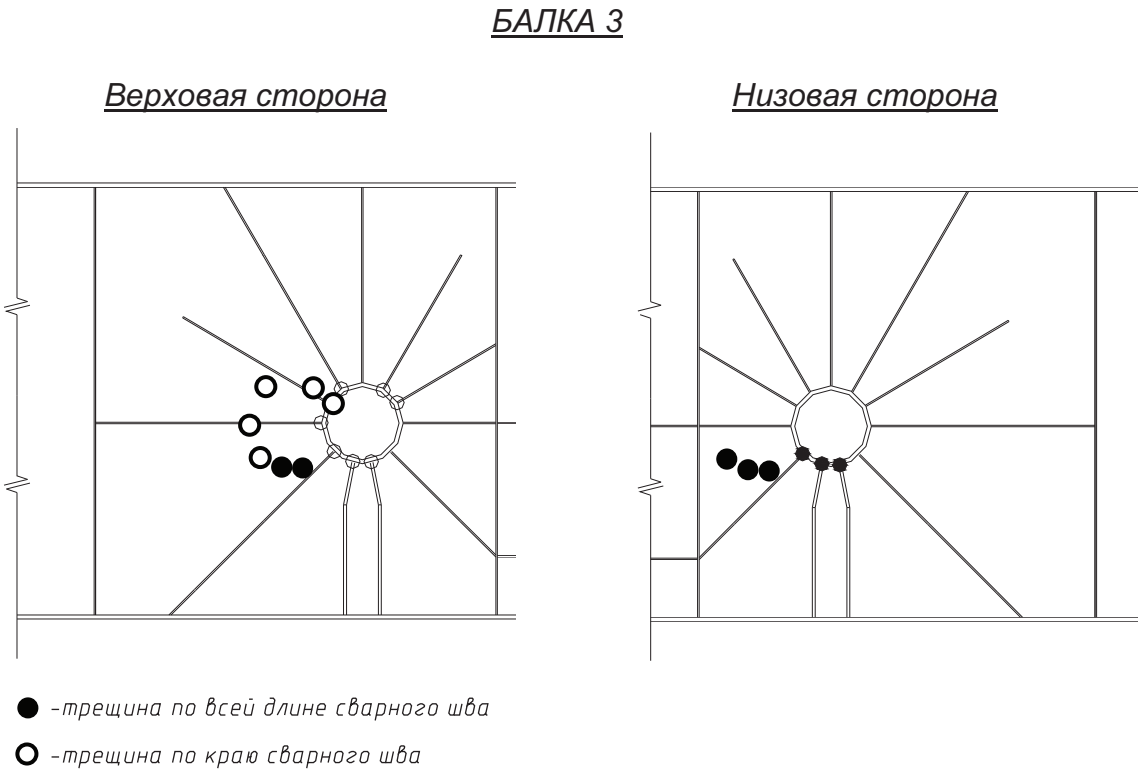


Рис. 7. Схема трещин у главной балки Б3

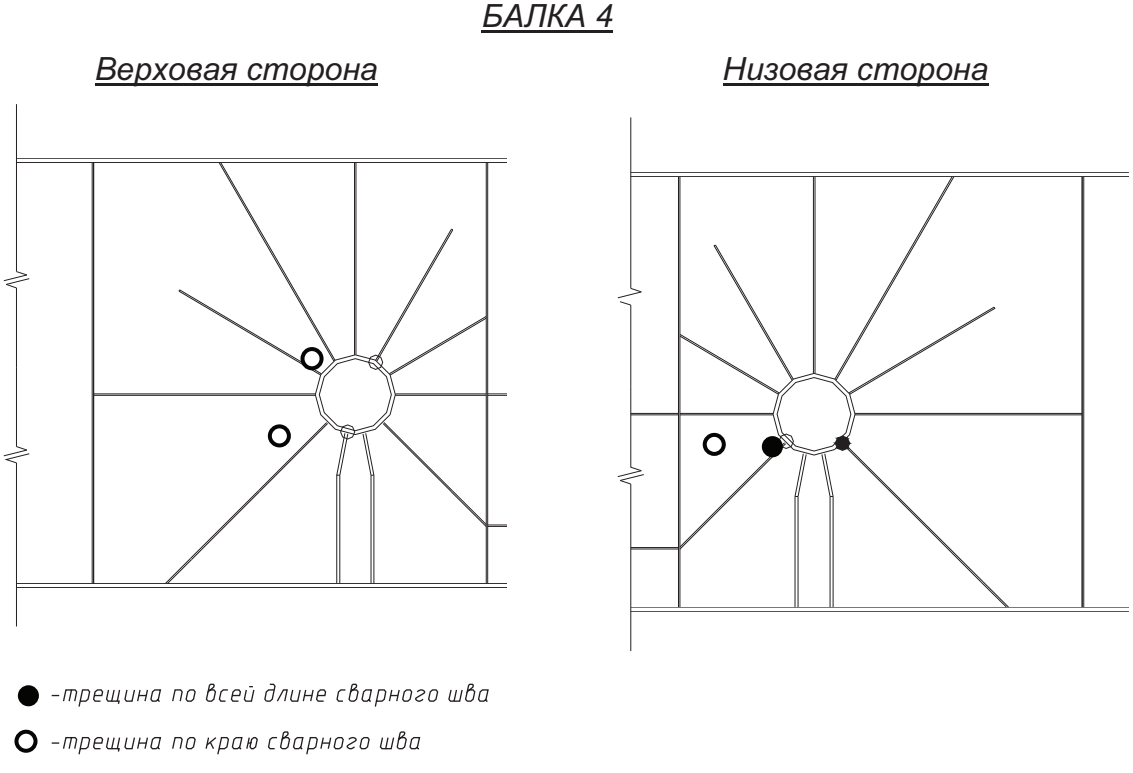


Рис. 8. Схема трещин у главной балки Б4

происходят относительно единой для всех главных балок оси, на которой располагаются шарнирные узлы всех опорных частей, расположенных в каждом опорном сечении. Фактически из-за погрешностей монтажа и индивидуальных особенностей каждого конкретного комплекта опорных частей шарнирные узлы опорных частей у каждой главной балки занимают свое индивидуальное положение. Однако из-за малости деформаций неразводных пролетных строений под нагрузкой и малой величины угловых перемещений опорных сечений это не оказывает заметного влияния на напряженно-деформированное состояние пролетных строений, поэтому при расчетах несоосностью опорных частей пренебрегают.

Принципиальным отличием работы разводного пролетного строения от работы стационарного является поворот опорных сечений, в которых располагается ось вращения, при разводке-наводке крыла на значительный угол, составляющий несколько десятков градусов. В этом случае несоосность осей вращения может оказать значительное влияние на напряженно-деформированное состояние конструкции. Указанная несоосность обнаруживается практически при всех обследованиях раскрывающихся мостов. На рис. 9, 10 в качестве примера приведено изменение высотного положения подшипников осей вращения одного из разводных мостов при наведенном и разведенном положениях крыла. При

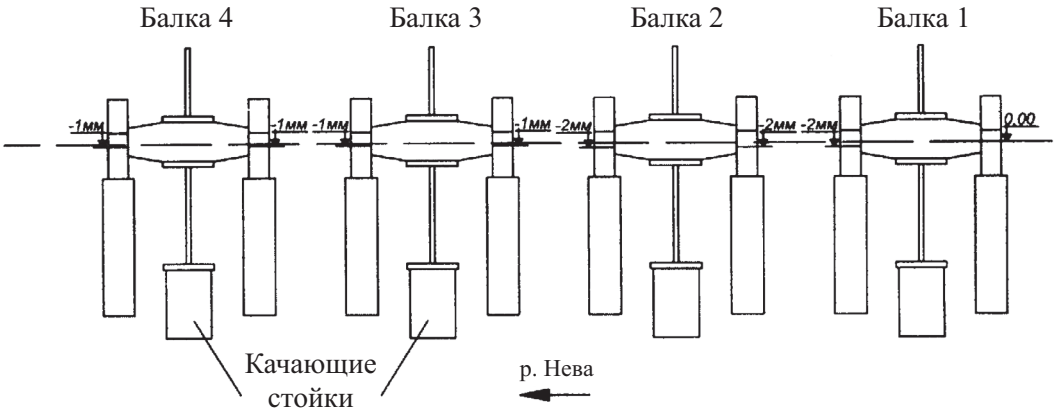


Рис. 9. Высотное положение подшипников осей вращения при опирании крыла на качающиеся стойки

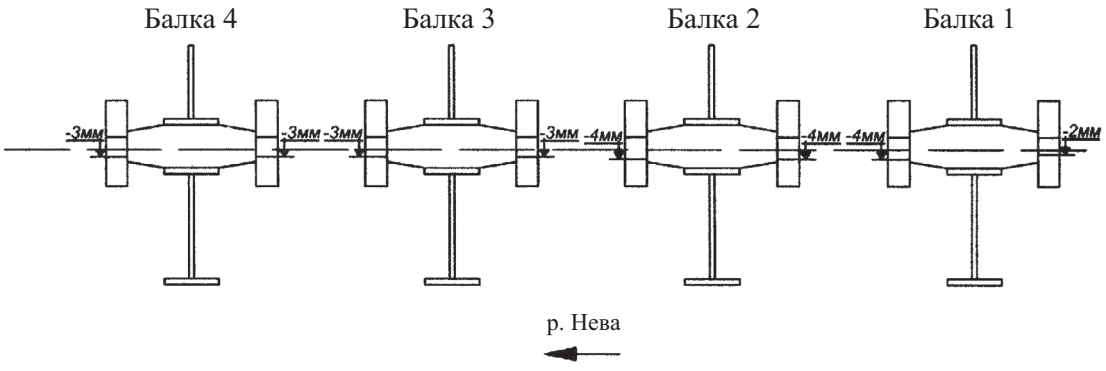


Рис. 10. Высотное положение подшипников осей вращения при разведенном положении крыла

этом положение подшипников изменялось и при промежуточных углах подъема крыла. Аналогичный характер имеют особенности и планового положения осей вращения.

В качестве положительных опорных частей в разводных мостах раскрывающейся системы в настоящее время, как правило, используют качающиеся стойки, длина которых может доходить до 3–4 м. При столь значительной длине качающихся стоек и разновысотном положении нижних шарнирных узлов и балансиров верхних узлов стоек, на которые опираются главные балки крыла, отмечается также неравномерность опирания главных балок на качающиеся стойки, что видно из результатов определения положения крыла большого разводного моста (рис. 11, табл. 1).

Наличие смещений главных балок при опирании на качающиеся стойки определяет сложный характер работы и главных балок, и качающихся стоек, которые в этом случае работают на внецентренное сжатие, что вызывает изгиб стоек и приводит к дополнительной неравномерности опирания главных балок на стойки. О наличии значительной неравномерности в опирании главных балок можно судить и по характеру отпечатков на контактных поверхностях верхних балансиров главных балок и нижних балансиров качающихся стоек. Неравномерность опирания главных балок на качающиеся стойки, связанная со сложностью монтажа конструкций разводных пролетных строений характерна практически для всех раскрывающихся мостов с опиранием главных балок на качающиеся стойки.

Рассмотренные выше факторы, задающие сложный характер напряженно-деформированного состояния узла опирания главных балок на оси вращения, определяют возможность появления чрезмерных напряжений в отдельных зонах, что подтверждается разрушением сварных швов крепления радиальных ребер жесткости. Положение зон чрезмерных напряжений, а также углы подъема крыла, при которых они возникают, определяются конкретными погрешностями в установке осей

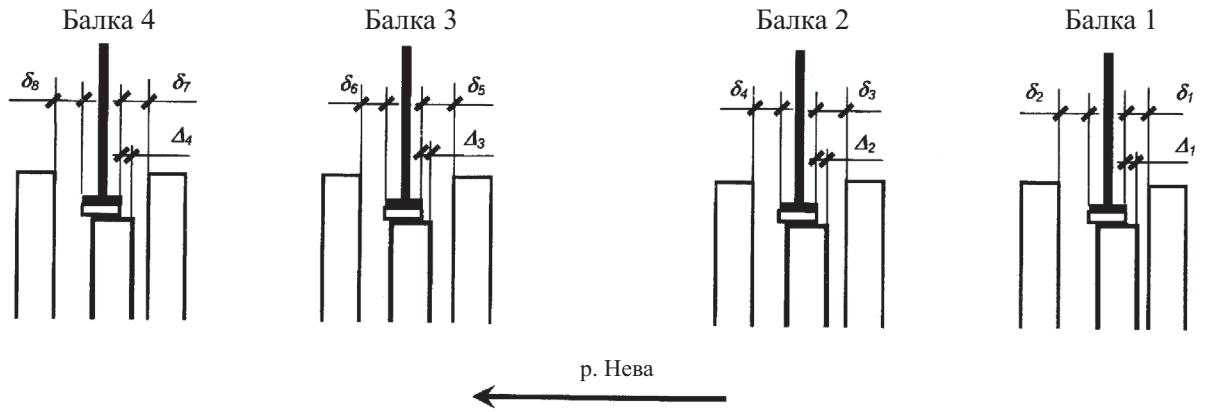


Рис. 11. Взаимное положение главных балок крыла разводного пролетного строения раскрывающегося моста, качающихся стоек и стоек подшипников осей вращения

ТАБЛИЦА 1. Взаимное положение главных балок, стоек подшипников осей вращения, верхних балансиров и качающихся стоек, мм

Главная балка № 1		Главная балка № 2		Главная балка № 3		Главная балка № 4	
Δ_1	15	Δ_2	20	Δ_3	5	Δ_4	10
δ_1	75	δ_3	150	δ_5	117	δ_7	68
δ_2	125	δ_4	77	δ_6	108	δ_8	135

вращения и особенностями опирания подшипников осей вращения.

Натурные измерения напряжений в элементах разводных пролетных строений раскрывающихся мостов подтверждают возникновение в отдельных ребрах напряжений, превышающих расчетные сопротивления металла. Примером могут служить результаты измерения напряжений в радиальных ребрах жесткости главной балки крыла у оси вращения разводного моста (рис. 12). Результаты измерений приведены в табл. 2.

Как видно, напряжения в ребрах зависят от угла подъема крыла, причем напряжения в процессе движения крыла не только изменяются по величине, но и могут менять знак. В одном из ребер напряжения приблизились к пределу текучести стали 15ХСНД, из которой изготовлено пролетное строение.

Заключение

Проанализированы причины возникновения трещин в швах крепления радиальных ребер жесткости главных балок разводных пролетных строений раскрывающейся системы. Отмечено, что в разводных мостах, поворачивающихся в процессе разводки-наводки на значительный угол, большое значение

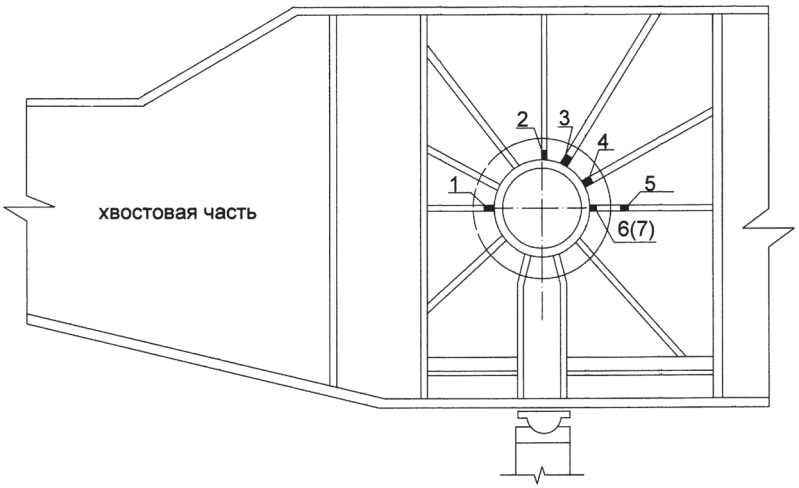


Рис. 12. Схема расположения датчиков на радиальных ребрах жесткости у оси вращения крыла раскрывающегося моста

ТАБЛИЦА 2. Напряжения в радиальных ребрах жесткости, МПа

№ датчика	Угол подъема крыла φ, град.		
	0 (наведенное положение)	5 (загружение осей вращения)	78 (разведенное положение)
1	0	80	110
2	0	–170	8
3	0	–265	–218
4	0	–63	–105
5	0	6	127
6	0	–82	–341
7	0	8	135

имеют погрешности монтажа, отклонения в положении подшипников осей вращения, несоосность осей вращения с геометрической осью вращения крыла и особенности опирания в наведенном положении на качающиеся стойки. Выполненные измерения подтвердили возможность возникновения в радиальных ребрах жесткости напряжений, близких к прочностным характеристикам стали, из которой изготовлена конструкция пролетного строения.

Библиографический список

1. **Учет** деформаций при оценке напряженно-деформированного состояния конструкций раскрывающихся мостов / Г.И. Богданов // Изв. Петербург. ун-та путей сообщения. – 2011. – Вып. 4 (29). – С. 29–36.

2. **Способы** разгрузки осей вращения раскрывающихся мостов и стабильность их пространственного положения / Г.И. Богданов // Украинский межотраслевой науч.-практич. семинар «Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення», 30 червня – 1 липня 1998 р., Київ : сб. докл. – Киев, 1998. – С. 13–16.

3. **Техническая** диагностика раскрывающихся мостов / Г.И. Богданов // Украинский межотраслевой науч.-практич. семинар «Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення», 30 червня – 1 липня 1998 р, Київ : сб. докл. – Киев, 1998. – С. 23–27.

4. **Оценка** долговечности разводных мостов раскрывающейся системы при отсутствии подклинки противовеса / В.В. Кондратов, Г.И. Богданов // Изв. Петербург. ун-та путей сообщения. – 2013. – Вып. 1 (34). – С. 96–99.

5. **Особенности** динамической работы пролетных строений разводных мостов раскрывающейся системы / В.В. Кондратов, Г.И. Богданов // Изв. Петербург. ун-та путей сообщения. – 2013. – Вып. 1 (34). – С. 100–108.

УДК 629.4.07

О.И. Копытенкова, О.Т. Алиев
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТРЕНАЖЕРНО-ОБУЧАЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД

В статье приведены примеры функциональных железнодорожных тренажеров и результаты их сравнительного анализа. Более того, рассмотрены модули построения обучающих комплексов на основе проблемно-ситуационного подхода, например, тренажеры, которые ориентированы на обучение специалиста с дальнейшей наработкой определенных навыков и умений. Современная тренажерная система должна включать в себя помимо средств зрительной симуляции также средства чувствительной симуляции, которые в основном формируют опыт и умение действовать в определенной обстановке.

железнодорожные тренажеры, обучающие системы, машинист, мультиплеер, интерфейс, симулятор, внешние факторы, внутренние факторы.

Введение

В последние годы в практике инженерной подготовки все чаще используют тренажерные комплексы. Тренажер позволяет построить обучение на основе проблемно-ситуационного подхода, реализовать активные методики обучения. Автоматизированная тренажерно-обучающая система (тренажер – автоматизированный аппаратно-программный функционально ориентированный комплекс для обучения человека и отработки определенных навыков и умений).

Тренажеры в современном понимании появились, когда возникла необходимость массовой подготовки специалистов для работы либо на однотипном оборудовании, либо со схожими рабочими действиями. В последнее время в связи с быстрой компьютеризацией мирового сообщества, с созданием сложнейшей техники, эксплуатация которой связана с риском для жизни не одного человека, но человечества в целом, возникла целая индустрия – тренажерные технологии.

Тренажерные технологии возникли и получили наибольшее развитие там, где ошибки при обучении на реальных объектах могут привести к чрезвычайным последствиям, а их устранение – к большим финансовым затратам: в военном деле, в медицине, в атомной энергетике, космосе, авиации и на железных дорогах [1, 2].

В общем случае тренажер представляет собой программно-аппаратный комплекс со своей структурой (рис. 1).

Моделирующий компьютер может быть столь же простым, как персональный компьютер, или таким сложным, как многопроцессорный сверхсовременный мини-компьютер. Компьютер моделирования связан с интерфейсом оператора через систему ввода-вывода. Интерфейс оператора может состоять как из панелей управления и контроля, так и из видеотерминалов и распределенной системы управления, обслуживающей видеотерминалы.

Имитационная модель представляет собой программные модели, используемые в имитационном компьютере, которые реалистично отображают взаимодействие компонентов и систем моделируемого процесса. Это наиболее важная часть тренажерной системы, от степени приближенности имитационной модели к реальному объекту или ситуации зависит качество получаемых навыков.

Интерфейс оператора позволяет обучающемуся манипулировать органами управления способом, приближенным или идентичным используемому в реальном процессе. Динамический отклик тренажера должен быть максимально приближен к отклику систем и компонентов реального объекта.

Интерфейс инструктора позволяет управлять работой тренажера, выбирать сценарий

Рис. 1. Структура современных тренажеров

тренировки и начальное состояние имитируемого процесса, вводя сбои моделируемого процесса или его компонентов либо изменяя внешние факторы.

Дополнительное оборудование включает в себя принтеры, панели аварийной сигнализации и любое другое оборудование, необходимое для повышения реалистичности моделируемой окружающей обстановки или документирования процесса тренировки [1].

В обзоре приведены примеры железнодорожных тренажерных систем, разработанных в таких странах, как Россия, Германия, Украина и др. Системы для обзора выбраны таким образом, чтобы охватить максимально разнообразные способы их реализации и применения, а также выявить лучшие образцы тренажерно-обучающих систем.

1 Тренажер машиниста электровоза ЭП1 М

Тренажер машиниста электровоза ЭП1 М (Россия) (рис. 2) является тренажером нового поколения, созданным с использованием современных методов математического моделирования. Он предназначен для обучения локомотивных бригад рациональным способам вождения поездов, вождению соединенных, тяжеловесных и длинносоставных поездов, действиям в нештатных и аварийных ситуациях на реальных участках пути, обслуживаемых локомотивной бригадой [3].

В тренажере моделируется работа всех основных систем электровоза во взаимодействии с объектами железнодорожной инфраструктуры.

Система визуализации – 3D графика – обеспечивает высокий уровень имитации путевой обстановки, возможность выбора погодных условий и дальности видимости. Тренажер имеет высококачественную систему имитации звуковой обстановки.

Управление тренажером производится с рабочего места машиниста инструктора с возможностью ввода любых неисправностей локомотивного оборудования, а также нештатных и аварийных ситуаций.

Тренажеры ПКБ ЦТ ОАО «РЖД» выпускают для различных серий грузовых и пассажирских локомотивов. Разработка и изготовление тренажеров осуществляется в сотрудничестве с ЗАО «Транзас Экспресс», ООО «АВП Технология», ООО «Центр Речевых Технологий», ОАО «ВНИИЖТ» [4].

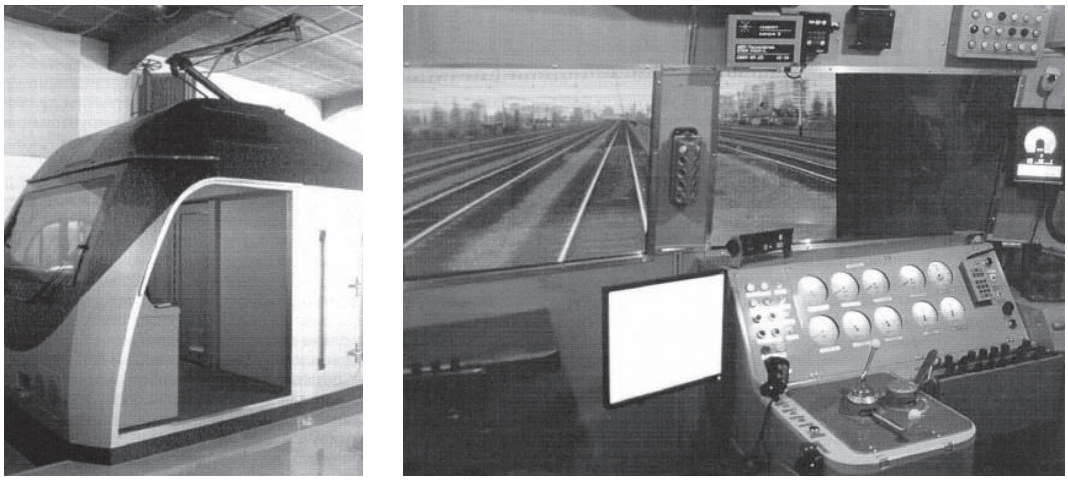


Рис. 2. Тренажер машиниста электровоза ЭП1 М

2 Тренажерный комплекс локомотивных бригад

Тренажерный комплекс локомотивных бригад (ТКЛБ) (Россия) разработан в 2011 г. специалистами ЗАО «ИНИУС» на базе универсального тренажерного комплекса (УТК) – комплекса инструментальных средств проектирования тренажеров для персонала систем контроля и управления, включающего средства для создания виртуального пространства (3D-модели) участков железной дороги, подвижного состава и инфраструктуры ОАО «РЖД» (рис. 3). Версия УТК 5.0 разработана на основе программы для 3D-моделирования и предыдущих программных продуктов ЗАО «ИНИУС».

В состав ТКЛБ входят: комплексный тренажер локомотивной бригады пассажирского тепловоза ТЭП70 БС; комплексный тренажер локомотивной бригады грузового тепловоза 2 ТЭ116У; пульт инструктора (руководителя тренировки).

Обучение на тренажерном комплексе тягового подвижного состава позволяет обеспечить выработку у локомотивных бригад навыков оптимального режима ведения поезда, действий в штатных и нестандартных ситуациях, взаимодействия с дежурным по станции и поездным диспетчером, освоения новых участков обслуживания [5].

Реакция тренажеров на действия обучаемых и инструктора базируется на динамических математических моделях процессов работы систем тепловоза и движения поезда, работающих в реальном масштабе времени и основанных на описании процессов дифференциальными уравнениями механики, переноса энергии, материального баланса. Модели тормозных устройств, систем управления, безопасности и т. д. соответствуют требованиям технических условий на эти устройства. Тяговые, тормозные расчеты, а также расчеты движения поезда соответствуют «Правилам тяговых расчетов для поездной работы». Моделируются процессы юза, буксования колесных пар, работы песочниц и других противоюзных и противобуксовочных средств, работа систем автоблокировки, сигнализации и безопасности, нарушения целостности тормозной магистрали поезда и т. п.

3 Многотиповой тренажерный комплекс «ТОРВЕСТ-М»

Компьютерный тренажерный комплекс «ТОРВЕСТ-М» разработан ЗАО НПЦ «СПЕКТР» (Россия), предназначен для обучения машинистов рациональным режимам вождения поездов, навыкам поведения в нештатных ситуациях, устранениям неисправностей (рис. 4).

Рис. 3. Тренажерный комплекс локомотивных бригад

Рис. 4. Многотиповой тренажерный комплекс

Комплекс состоит из рабочего места машиниста с реальными органами управления, приборами контроля и безопасности. В программном обеспечении тренажерного комплекса могут быть заложены любой маршрут следования, любое состояние сигнальных устройств, нештатные ситуации и т. п.

Тренажерный комплекс «ТОРВЕСТ-М» выполнен в виде симулятора поездного локомотива соответствующей серии со специализированной динамической платформой, которая позволяет обучаемому физически ощутить реакции, возникающие в процессе ведения поезда (толчки, удары, оттяжки при управлении автотормозами, а также наклоны в кривых участках пути и пр.). Окружающая обстановка выводится на монитор/проекционный экран (по желанию заказчика) и представлена в формате реального видеоизображения участка пути [6].

4 Комплексный тренажер машинистов скоростных поездов

В 2009 г. компания Krauss-Maffei Wegmann GmbH & Co. KG (Германия) по заказу ОАО «РЖД» изготовила и поставила в Россию комплексный тренажер машинистов скоростных поездов ЭВС01/02 «Сапсан». Тренажер установлен в специально созданном Центре подготовки локомотивных бригад, функционирующем с 1 февраля 2010 г. в Санкт-Петербурге (рис. 5).

Выведение на экран или монитор изображений впереди лежащего пути и показаний

Рис. 5. Тренажер машинистов скоростных поездов «Сапсан»

сигналов создает реальную обстановку со всеми ее изменениями, характерными для ведения поезда на конкретном участке. Как и в реальной кабине управления, на пульт выводятся показания измерительных приборов и сигнальных устройств. Чтобы машинист мог принять адекватные меры по устранению возникшей неисправности, тренажер «Сапсан» оснащен всеми необходимыми средствами [7].

Особую роль играет интерьер кабины, где машинист чувствует себя в привычной для него рабочей обстановке. Не менее важно и создание реальной акустической среды. Для этого тренажер оснащен средствами воспроизведения всех звуков и шумов, которые свойственны кабине машиниста во время ведения поезда. Здесь же он видит и чувствует уклоны пути, их крутизну и спуски. Модуль динамики воспроизводит все вибрации, ощущаемые машинистом при ведении реального поезда [8]. Важна максимальная синхронизация характера испытываемых человеком нагрузок с тем, что он в это время видит на экране, так как мозг быстро реагирует на малейшие несоответствия.

5 Тренажеры на основе программы симулятора ZDSimulator

Отличительными особенностями тренажера для машинистов локомотивов на основе программы железнодорожного симулятора ZDSimulator (Украина) (рис. 6) являются: реалистичные отлаженные годами физические характеристики локомотива, тормозов, состава; более 70 нештатных ситуаций по ведению поезда; более 200 неисправностей по электрической и пневматической схеме локомотива; единая база всех выпущенных маршрутов – как любительских, так и профессиональных; возможность создавать задания (сценарии); возможность тренироваться по сети с другими участниками под управлением диспетчера; неограниченная возможность доработок и усовершенствований тренажера; длительное сервисное обслуживание и обновление; домашняя offline-поддержка машинистов в виде программы ZDSimulator и возможность давать им домашние задания [9].

Схемы и аппараты локомотива детально проработаны. Программа изначально создавалась для российских (советских) железных дорог.

В симуляторе реализована возможность тренироваться по сети (мультиплеер), где реализованы возможности взаимодействия участников друг с другом, диспетчерское управление сигналами и движением.

6 Многофункциональные тренажеры Sydac

Компания Sydac (Австралия) является первооткрывателем широкого спектра технологий моделирования виртуальной реальности

Рис. 6. Тренажеры для машинистов локомотивов на основе программы ZDSimulator

Рис. 7. Многофункциональные тренажеры Sydac

(рис. 7). Такие международные компании, как London Underground, RailCorp, Eurostar, Bombardier Transportation и Boeing выбрали Sydac в качестве поставщика симуляторов.

Компания, основанная в 1988 г., имеет штаб-квартиру в Аделаиде (Южная Австралия), а также филиалы в трех Австралийских штатах и один – в Великобритании.

Мобильные тренажеры Sydac предлагают полный набор функций для обучения машинистов, совмещая данное решение с мобильностью всей системы. Они встроены в полуприцеп или стандартный товарный вагон, что позволяет легко переместить их в любое депо или на место тренировки [10].

Компьютерные симуляторы позволяют машинистам, проводникам, диспетчерам и многим другим быстро и эффективно усвоить обучающие материалы. Использование iTrain минимизирует время обучения и помогает достичь высоких результатов обучения.

Заключение

Сопоставление современных программных тренажеров показало, что большинство серьезных тренажерных систем представляют собой сложный программно-аппаратный комплекс. Именно такой вариант реализации обеспечивает максимальную эффективность подготовки специалистов. Преимуществами компьютерных тренажеров является их невысокая стоимость, компактность, возможность расположения практически в любом помещении. Недостатки проявляются в невозможности обеспечения высокой степени приближенности к реальной обстановке моделируемого объекта, так как тренажеры формируют в основном знание предметной области.

В ряде областей применение компьютерных тренажеров сильно ограничено и допустимо только на начальных этапах обучения. В большинстве случаев требования к современным тренажерным системам и комплексам в настоящее время весьма жесткие, и перекрыть все имеющиеся нужды средствами только компьютерной графики невозможно. Более того, ряд тренажерных систем просто необходимо комплектовать симуляторами перегрузок (ускорений, действующих на тело обучаемого) для максимальной эффективности подготовки специалистов. Поэтому законченная современная тренажерная система должна включать в себя помимо средств зрительной симуляции средства чувствительной симуляции, которые в основном формируют опыт и умение действовать в определенной обстановке.

Библиографический список

1. **Анализ** существующих в РФ тренажерно-обучающих систем / А. В. Трухин // Открытое и дистанционное образование. Ассоциация образовательных и научных учреждений «Сибирский открытый университет» (Томск). – 2008. – № 1. – С. 32–39.

2. **Мультимедиа** тренажерные комплексы для технического образования / Н. Н. Филатова, Н. И. Вавилова, О. Л. Ахремчик // Образователь-

ные технологии и общество. Казанский государственный технологический университет (Казань). – 2003. – Т. 6, № 3. – С. 164–186.

3. **Тренажеры** нового поколения : особенности, возможности, перспективы / А. Г. Ройзнер // Локомотив. – 2012. – № 5. – С. 17–19.

4. **Группа** компаний Транзас [Электронный ресурс]. – URL : http://www.transas.ru/Simulation/Railway (дата обращения 10.03.2014).

5. **Тренажерный** комплекс локомотивных бригад [Электронный ресурс]. – URL : http://www.inius.ru/index.php/trenazhery-lokomotivnyx-brigad.html (дата обращения 10.03.2014).

6. **Многотиповой** тренажерный комплекс [Электронный ресурс]. – URL : http://www.rc-spectr.ru/catalog/product/category/tc/?itid=5 (дата обращения 10.03.2014).

7. **Комплексный** тренажер машинистов скоростных поездов [Электронный ресурс]. – URL : http://www.kmweg.com (дата обращения 10.03.2014).

8. **Кузница** кадров для «Сапсанов» / В. А. Владимиров // Локомотив. – 2011. – № 6. – С. 5.

9. **Тренажеры** для машинистов [Электронный ресурс]. – URL : http://zdsimulator.com.ua/trenazhery (дата обращения 10.03.2014).

10. **Многофункциональные** тренажеры [Электронный ресурс]. – URL : http://www.sydac.com.au/en/products/mobile_simulators/mobile_simulators.jsp (дата обращения 10.03.2014).

УДК 519.2

М. М. Луценко, Н. В. Шадрицева
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

КООПЕРАТИВНЫЙ И ЧАСТОТНЫЙ ПОДХОДЫ К НАЗНАЧЕНИЮ ВЕСА ЗАДАНИЙ ТЕСТА

В работе сравниваются экспертный и частотный методы назначения веса заданий теста с кооперативным, рассмотренным авторами ранее [1, 2]. Определен вес Шепли заданий, найдены их значения для теста по теме «Интегральное исчисление». Сравнение проводилось по результатам тестирования студентов в 2010–2011 гг. Показано, что кооперативный вес является хорошим ориентиром при назначении веса заданий при известной структуре курса и времени на освоении его отдельных частей.

тестирование, вес заданий, кооперативные игры, вектор Шепли.

Введение

Тестирование как инструмент измерения уровня знаний давно и успешно применяется в обучении. За последние годы интерес к нему значительно возрос, что вызвано формализацией учебного процесса и развитием компьютерных средств контроля знаний. Появление математических моделей Раша, Бирнбаума и др. существенно расширили теорию и дали возможность использовать современные математические модели: теорию параметризации педагогических тестов (Item Response Theory) [3], статистические игры [4].

Одной из проблем теории тестирования является задача определения веса задания теста [3]. В большинстве тестов вес заданий считается равным, но по мере усложнения структу-

ры теста и увеличения числа заданий в тесте потребность в определении их сложности возрастает. Это особенно важно при сравнении результатов учащихся, решавших разные тесты, или в тех случаях, когда времени на решение всех заданий теста недостаточно.

Так как тесты часто проводят по завершении части или всего курса обучения, вполне естественно определить трудность (сложность, вес) задания как время, необходимое для подготовки учащегося к его выполнению. Если учащийся самостоятельно выбирает последовательность изучаемых разделов (с учётом структуры курса и имеющегося у него времени), то за вес задания можно принять некоторое усреднённое время на подготовку к его решению. Такой способ нахождения веса характерен для теории игр. Таким образом, проблема назначения веса задания педагогического теста сводится к проблеме построения дележа в некоторой кооперативной игре.

Известны две группы методов назначения веса заданий теста: экспертный и частотный. В первой группе эксперт (преподаватель, проводящий тестирование) назначает вес заданий теста, основываясь на собственном опыте. Согласно второму методы определения веса назначаются по результатам пробного тестирования по правилу: чем больше тестируемых решило задание, тем меньший вес ему назначается. Однако применить эти методы сложно при малом опыте работы с курсом.

В 2010–2011 гг. в ПГУПС проводилось тестирование студентов по курсу «Интегральное исчисление». Учащиеся выполняли 24 задания по 9 разделам курса. Обработка итогов тестирования показала хорошую устойчивость частоты решения простых задач и плохую – сложных задач. Показано, что первоначально назначенный (экспертный) вес заданий плохо согласуется с частотным весом, хотя последний неплохо согласуется с весом, полученным из решения соответствующей кооперативной игры. Отдельный интерес представляет вес Шепли для редких заданий, так как там частотный вес оказывается крайне неустойчивым.

Игры с упорядоченным множеством игроков

Определение 1. *Кооперативная игра* [5] $\Gamma = \langle I, v \rangle$ определяется множеством игроков $I = \{1, 2, \ldots, n\}$ и *характеристической функцией игры* v, ставящей в соответствие каждому подмножеству игроков $K \subseteq I$ тот выигрыш, который они могут получить, объединившись в коалицию *K*.

Определение 2. Дележом кооперативной игры $\Gamma = \langle I, v \rangle$ называется неотрицательный вектор $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$, удовлетворяющий условию коллективной рациональности: $x(I) = \sum_{i \in I} x_i = v(I)$.

Определение 3. Для игрока $i \in I$ в игре $\Gamma = \langle I, v \rangle$ величина $\Delta_i(K) = v(K \cup \{i\}) - v(K)$ называется *вкладом игрока i в коалицию K*, или приращением выигрыша коалиции *K* за счет игрока *i*.

Определение 4. *Вектором Шепли* кооперативной игры $\Gamma = \langle I, v \rangle$ называется дележ $Sh(v) = (Sh_1(v), Sh_2(v), \ldots, Sh_n(v))$, компоненты которого находятся по следующим формулам:

$$Sh_i(v) = \sum_{K \subseteq I} \frac{(n-k-1)!\,k!}{n!} (v(K \cup \{i\}) - v(K)),$$

$$k = |K|;\ n = |I|,\ i \in I. \qquad (1)$$

Хорошо известна следующая вероятностная интерпретация вектора Шепли $Sh(v)$. Предположим, что игроки из множества *I* последовательно появляются на некотором месте встречи, и каждый вновь прибывший игрок $i \in I$ получает величину его вклада $\Delta_i(K)$ в создавшуюся до него коалицию *K*, тогда компонента $Sh_i(v)$ равна математическому ожиданию выигрыша игрока *i* при равновероятности всех порядков появления игроков на общем месте встречи.

Пусть $A = \{\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n\}$ – множество разделов курса обучения, по которым составлен некоторый тест. Мы предполагаем, что курс *A*

структурирован и его структура определяется двумя функциями $S(\alpha)$, a_α. Первая из них $S(\alpha)$ определяет множество разделов курса, непосредственно предшествующих разделу α. Вторая a_α указывает время, необходимое для освоения раздела α, если учащийся освоил все разделы из множества $S(\alpha)$.

Определение 5. Будем говорить, что раздел β курса *A* следует за разделом α, или раздел α предшествует разделу β, и записывать $\alpha < \beta$, если найдутся такие разделы $\alpha = \gamma_1, \gamma_2, \ldots, \gamma_k = \beta$ курса *A*, для которых выполняются следующие утверждения: $\alpha \in S(\gamma_2)$, $\gamma_2 \in S(\gamma_3)$, $\ldots, \gamma_{k-1} \in S(\beta)$.

Введённое отношение следования (предшествования) обладает свойством транзитивности, т. е. для любых трёх разделов $\alpha, \beta, \gamma \in A$ верно следующее утверждение: $(\alpha < \beta)\ \&\ (\beta < \gamma) \Rightarrow (\alpha < \gamma)$. В дальнейшем мы предполагаем, что функция непосредственного предшествования $S(\alpha)$ такова, что порождённое ей отношение следования антирефлексивно на множестве разделов *A*.

Обозначим через $V(\alpha) = \{\beta \in A \mid \beta < \alpha\}$ и $\bar{V}(\alpha) = \{\beta \in A \mid \alpha < \beta\}$ – множества из разделов курса, предшествующих разделу α, и разделов, следующих за разделом α, соответственно, а через $V[K] = V(K) \cup K$.

Пример (сумма знаний [1, 2]). Пусть $A = \{\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n\}$ – частично упорядоченное множество игроков, порожденное отношением непосредственного предшествования *S*(α), а $a = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$ – неотрицательный вектор. Определим характеристическую функцию игры $\Gamma = \langle A, v \rangle$ по формуле

$$v(K) = \sum_{\alpha \in V[K]} a_\alpha . \qquad (2)$$

Таким образом, значение $v(K)$ есть время, необходимое для изучения разделов из множества разделов *K*. Перечислим некоторые свойства характеристической функции $v(K)$.

1. *Персональность.* $v(\varnothing) = 0$.

2. *Монотонность и неотрицательность.* Для любых двух совокупностей разделов K_1 и K_2 верно следующее утверждение:

$$K_1 \subset K_2 \Rightarrow v(K_1) \le v(K_2) .$$

3. *Ориентация на продвинутые разделы.* Значение характеристической функции на множестве разделов *K* совпадает с её значением на множестве максимальных разделов множества *K*, т. е. $v(K) = v(\max K)$. Иными словами, время, затраченное на изучение разделов из множества *K*, совпадает со временем, затраченным на изучение наиболее «продвинутых» разделов из множества *K*.

Теорема. В кооперативной игре $\Gamma = \langle A, v \rangle$ с частично упорядоченным множеством игроков *A* и характеристической функцией (1) компоненты вектора Шепли могут быть найдены по формуле

$$Sh_\alpha(v) = \sum_{\alpha_j \in \bar{V}[\alpha]} \frac{a_j}{\left|\bar{V}[\alpha_j]\right|}, \qquad (3)$$

где α – имя игрока; $\left|\bar{V}[\alpha]\right|$ – число элементов множества $\bar{V}[\alpha] = \bar{V}(\beta) \cup \{\beta\}$.

Теорема была сформулирована в работе [2], доказательство ее для древовидного порядка на множестве игроков можно найти в работе [3].

Вес задач педагогического теста

Предположим, что по окончании учебного курса $A = \{\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n\}$ учащийся выполняет проверочный тест, составленный таким образом, что из каждого раздела в тест входит ровно одно задание, поэтому для заданий теста мы будем использовать те же обозначения, что и для соответствующих разделов курса *A*. Если тестируемый выполнил задания совокупности *K* теста $A = \{\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n\}$, то $v(K)$ можно интерпретировать как уровень его подтверждённых знаний или уровень его подготовки к тесту *A*.

К сожалению, такая оценка уровня знаний крайне неустойчива. Во-первых, выполнение хотя бы одного задания высокого уровня обеспечивает тестируемому высокий балл. Однако такое решение может появиться или случай-

но, или как результат несанкционированных консультаций. Во-вторых, тестируемый может неправильно оценить свои силы и затратить всё отведённое время на выполнение наиболее сложного задания. В этом случае возможная неудача (недостаток времени, нервозная обстановка, арифметическая ошибка) приведёт к тому, что итоговый балл тестируемого будет сильно занижен. В-третьих, балл тестируемого мало зависит от числа выполненных им заданий, что затрудняет дальнейшее сравнение учащихся.

На практике давно и успешно применяется аддитивная оценка уровня знаний тестируемого:

$$w(K) = \sum_{\alpha \in K} w_\alpha , \qquad (4)$$

где K – множество заданий теста $A = \{\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n\}$, выполненных тестируемым; w_α – вес соответствующих заданий, $\alpha \in A$. В дальнейшем функцию $w(K)$ мы будем называть весовой функцией теста (изучаемого курса). Хорошо известны две группы методов назначения весов заданий теста.

Экспертный. Обычно экспертом является составитель заданий, и он назначает вес, руководствуясь собственным опытом. Возможны и более сложные процедуры назначения веса заданий с участием нескольких экспертов.

Частотный. Вес заданий назначают лишь после проведения теста, причём задание получает больший вес, если оно решено меньшим числом тестируемых. Для расчёта веса используют различные математические модели, в том числе Раша, Бирнбаума и др. [3].

Недостатки обоих методов очевидны. Первый субъективен и мало применим к построению тестов по новым курсам. К недостаткам второго следует отнести невозможность указания веса задания до проведения теста и появление большого веса у простых, но непопулярных заданий.

Перечислим свойства веса Шепли $w = \mathrm{sh}(v)$ и покажем, что он является разумным весом заданий теста v.

Пусть K – совокупность выполненных заданий теста A или совокупность соответствующих разделов курса A. Тогда оценка уровня знаний $w(K)$ близка к истинному уровню знаний $v(K)$ (является оценкой наименьших квадратов с соответствующими коэффициентами).

Весовая функция $w(K)$ аддитивна, положительна и строго монотонна (если время на изучение начальных разделов положительно), т. е.

$$w(K_1 \cup K_2) = w(K_1) + w(K_2) \quad \text{при } K_1 \cap K_2 = \varnothing ;$$

$$K_1 \subset K_2 \Rightarrow w(K_1) < w(K_2) \quad \text{при } K_1,\ K_2 \subseteq A .$$

Вес (балл) Шепли w_α измеряется в часах, связан со временем подготовки к выполнению заданию α курса A и его структурой. Вес w_α задания α – математическое ожидание времени обучения этому заданию при равновероятности всех программ обучения, или доля времени, затраченного строго на изучение раздела α.

Вектор веса w находится в дополнительном c-ядре $C^*(v)$ и может быть легко построен по любому курсу A, если известны его структура и функция a_α.

Примеры расчета веса заданий

Пример 1. Предположим, что изученный курс состоит из трех разделов $A = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3\}$. Логическая структура курса A описывается функцией непосредственного предшествования $S(\alpha)$, задаваемой равенствами

$$S(\alpha_1) = S(\alpha_2) = \varnothing;\ S(\alpha_2) = \{\alpha_1, \alpha_2\}.$$

Таким образом, разделы α_1 и α_2 являются начальными, а освоение раздела α_3 возможно лишь после освоения двух предыдущих разделов. Обозначим через a_1, a_2 время, необходимое для освоения соответствующих разделов,

а через a_3 – время, необходимое для освоения третьего раздела, если предыдущие два раздела уже освоены.

Согласно теореме, вес Шепли соответствующих разделов можно найти по формулам $w_1 = a_1/2$; $w_2 = a_2/2$; $w_3 = a_1/2 + a_2/2 + a_3$.

Заметим, что вес 3-го раздела оказывается больше веса 1-го и 2-го разделов даже в том случае, когда время a_3, затраченное на освоение раздела α_3, равно нулю.

Пример 2. Предположим теперь, что тест, составленный по курсу *A*, содержит k_1 заданий первого раздела, k_2 заданий второго раздела и k_3 заданий третьего раздела. Составим кооперативную игру «Сумма знаний». В этой игре будет $k_1 + k_2 + k_3$ игроков. Внутри каждого раздела задания можно считать линейно упорядоченными, причем время освоения каждого нового задания считаем равным нулю. Следовательно, вес заданий каждого раздела оказывается равным. Запишем формулы веса для заданий трех разделов: $w_1 = a_1/(k_1 + k_3)$; $w_2 = w_2 = a_2/(k_2 + k_3)$; $w_3 = a_1/(k_1 + k_3) + a_2/(k_2 + k_3) + a_3/k_3$.

Пример 3. На кафедре «Математика и моделирование» в различные годы в рамках курса «Математический анализ» проводилось тестирование студентов по теме «Интегральное исчисление». В 2012, 2013 гг. в тестировании участвовало 120 и 87 человек, соответственно. Задания теста были составлены по 9 разделам, названия которых перечислены в таблице. Обозначим через α_i название *i*-го раздела проверяемой темы, а через k_i – число заданий теста соответствующего раздела, $i = \overline{1,9}$. Всего тест содержал $\sum_{i=1}^{9} k_i = 24$ заданий различной трудности. Экспертный вес заданий $w_i^{\text{Эк}}$ был указан в тесте (см. таблицу), и они должны были помочь тестируемым выбирать задания в соответствии с их уровнем подготовки. Максимально возможная сумма баллов

Баллы заданий теста

№ (i)	Проверяемые разделы темы «Интегрирование» (α_i)	Число заданий раздела в тесте (k_i)	Время освоения раздела (a_i)	Экспертные баллы ($w_i^{\text{Эк}}$)	Частотные баллы		Баллы Шепли (w_i^{Sh})
					2012 г. (w_i^{12})	2013 г. (w_i^{13})	
1	Таблица интегралов	10	3	1,0	0,5	1,1	0,5
2	Следствия из таблицы	4	5	3,0	1,2	2,1	2,2
3	Определенный интеграл	1	1	3,0	2,2	4,2	4,6
4	Интегрирование по частям	3	2	5,0	2,0	3,2	3,3
5	Разложение дроби	2	2	3,0	0,9	1,7	1,5
6	Коэффициенты разложения	1	1	3,0	1,8	3,3	2,8
7	Интеграл от дроби	1	1	6,0	2,5	3,9	7,9
8	Двойной интеграл	1	2	10,0	6,4	19,6	12,1
9	Интеграл от тригонометрического выражения	1	3	10,0	44,5	11,8	20,4
	Итого	24	20	75	75	75	75

$\sum_{i=1}^{9} k_i w_i^{\text{Эк}} = 75$, причем сложность заданий, как правило, возрастала при увеличении номера задания.

Для каждого года частота выполнения заданий теста рассчитывалась по формулам $p_i = N_i/(k_i N)$, где N_i – число заданий *i*-го раздела, выполненных тестируемыми; k_i – число заданий *i*-го раздела, предложенных в тесте; N – общее число тестируемых в рассматриваемом году. Из таблицы видно, что значения частоты выполнения заданий для двух лет близки (кроме наиболее сложной задачи раздела 9). Частотные баллы строились по следующим формулам:

$$w_i = \frac{k}{p_i};\ k = 75 \cdot \left(\sum_{i=1}^{9} \frac{k_i}{p_i} \right)^{-1},$$

в которых k – нормирующий множитель, обеспечивающий максимальную общую сумму баллов, равную 75. В таблице можно заметить, что полученные частотные баллы значительно отличаются как от экспертных баллов, так и друг от друга в различные годы тестирования.

Тема «Интегрирование» изучалась в соответствии с учебным планом и указанными в нем взаимосвязями разделов. Отношение непосредственного предшествования разделов может быть задано функцией $S(\alpha)$, ее значения:

$$S(\alpha_1) = S(\alpha_5) = \varnothing;\ S(\alpha_2) = \{\alpha_1\};$$
$$S(\alpha_6) = \{\alpha_5\};\ S(\alpha_4) = \{\alpha_2\};\ S(\alpha_3) = \{\alpha_4\};$$
$$S(\alpha_8) = \{\alpha_3\};\ S(\alpha_7) = \{\alpha_2, \alpha_6\};$$
$$S(\alpha_9) = \{\alpha_3, \alpha_7\}.$$

Согласно определению 5, функции $S(\alpha)$ на множестве разделов A порождают отношение следования. Таким образом, 3-й и 7-й разделы оказались начальными, а 8-й и 9-й указаны как наиболее сложные.

Числа $a_i \geq 0$, $i = \overline{1,9}$ (см. таблицу) определяют время, необходимое для изучения соответствующих разделов, при условии, что все предыдущие разделы уже изучены. Их значения указаны в таблице. Таким образом, время на изучение всех разделов изучаемой темы равно $a_1 + a_2 + \cdots + a_9 = 20$ (час).

Так как по некоторым разделам тест содержал несколько заданий, для построения веса Шепли необходимо определить кооперативную игру с числом участников, равным 24. Время подготовки участников к выполнению заданий одного и того же раздела теста мы считаем равным времени освоения этого раздела. Так как общая сумма веса Шепли равна общему времени освоения темы, т. е. 20, то баллы Шепли будут в $k = 75/20 = 3,25$ раз больше соответствующего веса, что сделано для удобства сравнения с ранее рассчитанными баллами.

Окончательно баллы Шепли были рассчитаны по формулам:

$$w_1 = k \cdot a_1/21;\ w_2 = k(a_1/21 + a_2/11);$$
$$w_4 = k(a_1/21 + a_2/11 + a_4/7);\ w_5 = k \cdot a_5/5;$$
$$w_3 = k(a_1/21 + a_2/11 + a_3/3 + a_4/7);$$
$$w_6 = k \cdot (a_5/5 + a_6/3);$$
$$w_7 = k(a_1/21 + a_2/11 + a_4/7 + a_5/5 + a_6/3 + a_7/2);$$
$$w_8 = k(a_1/21 + a_2/11 + a_3/3 + a_4/7 + a_8);$$
$$w_9 = k(a_1/21 + a_2/11 + a_3/3 + a_4/7 + a_5/5 + a_6/3 + a_7/2 + a_9).$$

Их точные значения приведены в таблице.

Из таблицы видно, что баллы Шепли близки к частотным баллам для заданий с малыми номерами, а для последних заданий их значения лежат между частотными баллами различных лет.

Вывод

При проведении итогового или промежуточного контроля баллы Шепли могут быть

хорошим ориентиром при назначении баллов заданий теста.

Библиографический список

1. **Теория** статистических решений : учеб. пособие. Ч. 2 / М. М. Луценко. – Санкт-Петербург : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2012. – 111 с.

2. **Lutsenko, M. M.,** Shadrintseva, N. V. Shapley value in testing // Proceedings of the 2nd int. conf. «Game theory and management application», «Game theory, operations research and applications», Hyderabad, Inst. of public enterprise, India. – Hyderbad, 2012. – P. 47–49.

3. **Введение** в теорию моделирования и параметризации педагогических тестов / Ю. М. Нейман, В. А. Хлебников. – Москва, 2000. – 168 с.

4. **О точности** педагогического тестирования / М. М. Луценко, Н. В. Шадринцева // Изв. Петербург. ун-та путей сообщения. – Санкт-Петербург : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2011. – Вып. 4 (29). – С. 250–258.

5. **Теория** игр : учеб. пособие для университетов / Л. А. Петросян, Н. А. Зенкевич, Е. А. Семина. – Москва : Высш. шк., 1998. – 304 с.

→ СОЦИАЛЬНО–ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

УДК 338

Е. Д. Веселова, Е. И. Рычкова, А. Е. Стасишина, А. И. Норкина
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ПРИМЕНЕНИЕ УКРУПНЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СМЕТНОЙ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Рассмотрены вопросы применения укрупненных показателей для оценки сметной стоимости недвижимости. Указаны случаи применения укрупненных показателей стоимости строительства. Дана краткая характеристика укрупненных показателей и особенностей их применения при оценке сметной стоимости недвижимости. Приведены результаты расчетов сметной стоимости трех объектов недвижимости и сделаны соответствующие выводы.

сметная стоимость, инвентаризационная стоимость, укрупненные показатели, оценка недвижимости, индексация, налог на имущество.

В хозяйственной практике нередки случаи, когда для определения сметной стоимости строительства применение единичных расценок невозможно. Можно указать, по крайней мере, три подобные ситуации:

1) подготовка инвесторских смет;

2) определение инвентаризационной стоимости объекта;

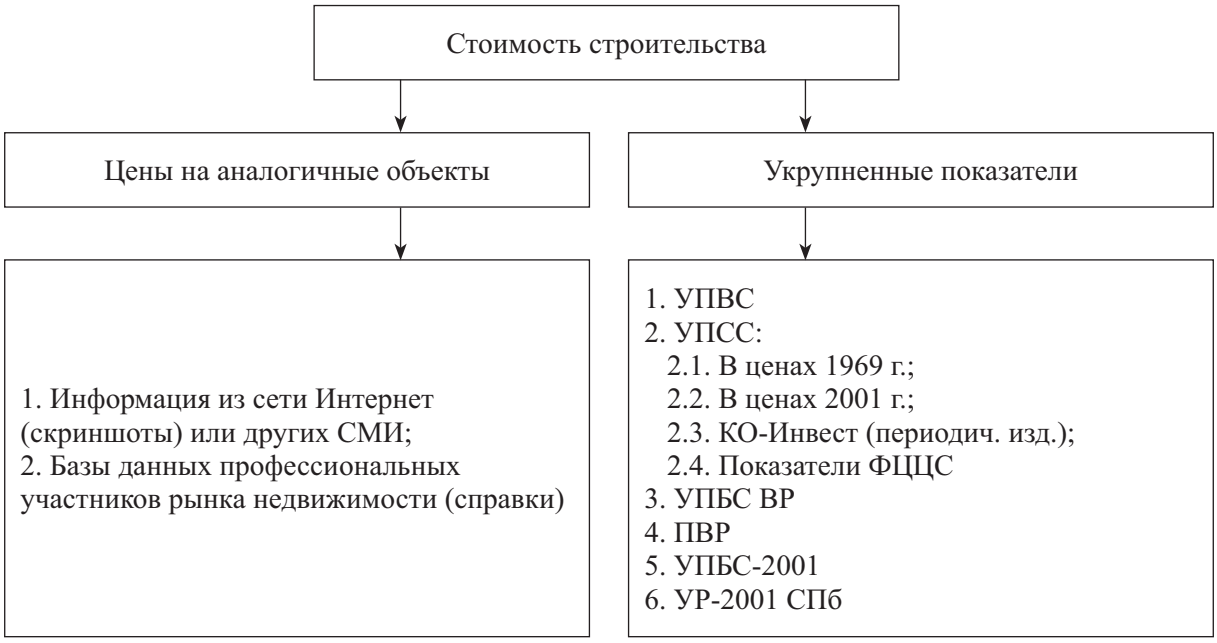
3) оценка рыночной стоимости недвижимости.

В указанных случаях для выполнения необходимых расчетов используются либо данные по объектам-аналогам, либо укрупненные расценки и показатели сметной стоимости строительства (см. рисунок).

Данные по объектам-аналогам можно получить либо из средств массовой информации, либо из баз данных профессиональных участников рынка строительства и недвижимости, например, проектных организаций, девелоперских компаний.

Другой способ оценки сметной стоимости строительства объекта – использование различных укрупненных показателей и расценок. К ним относятся: укрупненные показатели восстановительной стоимости (УПВС), укрупненные показатели сметной стоимости (УПСС), укрупненные показатели базисной стоимости на виды работ (УПБС ВР), показатели стоимости на виды работ (ПВР), укрупненные показатели базисной стоимости 2001 г. (УПБС-2001), укрупненные расценки (УР-2000), прейскуранты на строительство зданий и сооружений (ПРЗС), удельные показатели стоимости строительства в текущих ценах (УдПС).

Инвесторские сметы представляют собой комплекс документов, входящих в состав предпроектной документации по строительству и разрабатываемых, как правило, в период, когда отсутствуют конструктивные и архитектурно-планировочные чертежи и, следовательно, нет возможности определить объем работ в натуральных единицах измерения и применить единичные расценки. Расчет проводится по укрупненным расценкам и показателям для предварительной оценки заказчиком стоимости



Источники информации оценки стоимости строительства в условиях отсутствия проектно-сметной документации

строительства на разных этапах капитальных вложений, а также для подготовки подрядных торгов или переговоров с подрядчиком. Инвесторская смета приводит полную стоимость строительства, в которую входят стоимость оборудования, проектных работ, содержание службы заказчика, осуществляющей строительство и т. д.

В терминах оценочной деятельности результат расчета инвесторской сметы является стоимостью замещения [1, п. 15].

Инвентаризационная стоимость [2, 3] объекта (за вычетом накопленного строением износа) используется налоговыми органами в качестве базы для исчисления налога на имущество для физических лиц. Для этого органы технической инвентаризации ежегодно представляют в налоговые органы по месту расположения объектов недвижимости соответствующую справку, форма которой утверждена приказом Госстроя РФ и МНС РФ [3].

Инвентаризационная стоимость определяется проектно-инвентаризационными бюро (бюро технической инвентаризации) (ПИБ/БТИ) в соответствии с «Порядком оценки зданий, помещений, сооружений, принадлежащих гражданам на праве собственности», утвержденным приказом [4]. При этом ПИБ используют УПВС [5], разработанные в базе сметных цен, введенных в действие с 1 января 1969 г.

При оценке рыночной стоимости недвижимости укрупненные показатели применяются: в затратном подходе – для оценки величины сметной стоимости; в доходном подходе – при оценке величины резерва на замещение быстроизнашивающихся элементов строений, в сравнительном подходе – для оценки величины некоторых корректировок.

Указанные сборники укрупненных показателей различаются базой (уровнем) цен, что требует соответствующей индексации, составом показателей, номенклатурой объектов, что индивидуализирует их применение.

Например, использование данных сборника УПБС ВР при оценке рыночной стоимости недвижимости требует индексации базисной стоимости видов работ от цен 1991 г. в текущие цены на дату оценки, что требует особой техники пересчёта, так как индексов удорожания от цен 1991 г. не существует. В большинстве субъектов РФ публикуются индексы удорожания от цен 1984 г. Поэтому при ис-

пользовании УПБС ВР необходимо сначала перейти от цен 1991 г. к ценам 1984 г., а уже затем произвести индексацию в текущие цены. Переход от цен 1991 г. в цены 1984 г. возможен путем деления на индексы, приведенные в письме Госстроя СССР [6]. Индексы удорожания СМР от цен 1984 г. приводятся в ежемесячных журналах «Вестник ценообразования в Санкт-Петербурге» и «Ценообразование и сметное нормирование в строительстве» или в иных аналогичных изданиях (например, «КО-Инвест»). Следует учитывать, что в сборнике УПБС ВР расценки представлены для Московской области [7], поэтому при оценке объекта, расположенного не в I территориальном районе, необходимо дополнительно учитывать территориальные коэффициенты.

Показатели стоимости на виды работ (ПВР) разработаны в ценах по состоянию на 1 января 1991 г. Индексацию цен в текущий уровень таких укрупненных показателей необходимо выполнять от уровня на 1 января 1991 г. с учетом деноминации (в 1000 раз): сначала – в уровень цен на 1 декабря 1999 г., затем – от цен 2000 г. в текущий уровень цен на дату оценки по элементам прямых затрат. Индексация в уровень цен на 1 декабря 1999 г. выполняется путем умножения на расчетный индекс удорожания строительства.

Укрупненные показатели базисной стоимости (УПБС-2001) [8], разработаны в ценах 2000 г., что требует их индексации в текущий уровень цен с помощью индексов удорожания от цен 2000 г., которые регулярно публикуются в ежемесячных журналах по сметному ценообразованию.

Особенностью индексации УПВС и УПСС [9] является публикация в базовых ценах 1969 г., что требует индексации в цены на 1 января 1984 г. с последующей индексацией в текущий уровень цен на дату оценки.

Можно отметить, что в настоящее время ПИБ (БТИ) и оценщики ограничиваются только индексацией в цены на дату оценки. Однако в этом случае не учитывается известное обстоятельство: в УПВС в базовых ценах 1969 г. накладные расходы и сметная прибыль учтены по нормам и методике, а лимитированные затраты – по нормам, отличающимся от действующих в настоящее время. Отсутствие учета современных норм накладных расходов, сметной прибыли и лимитированных затрат ведет к существенному занижению при определении затрат, необходимых для воспроизводства либо замещения объекта в ценах на дату оценки. Контрольные расчеты кафедры «Экономика и менеджмент в строительстве» показали, что при учете современных норм накладных расходов, сметной прибыли и лимитированных затрат увеличение стоимости недвижимости составит в среднем 9–11 % [10].

Еще одно отличие укрупненных показателей – это состав учтенных затрат. Так, например, в сборниках УПВС и УПСС приведена величина полной сметной стоимости строительства объекта. При этом некоторые сборники УПСС, например, сборник «Административно-бытовые здания» содержат величину прямых затрат (для монтажных работ – сметной себестоимости), что в дальнейшем требует учета накладных расходов, сметной прибыли, лимитированных и прочих затрат, включая стоимость проектно-изыскательских работ.

В таблицах сборника УПБС ВР [7] по видам работ дана величина элементов прямых затрат и их общая сумма, а в графе «всего» – итоговый результат с накладными расходами и сметной прибылью.

Поскольку в УПБС ВР приведена величина элементов прямых затрат, необходимо определять физические объемы работ, т. е. составлять смету. По общестроительным работам это сделать не так трудно, особенно если на объект оценки имеется технический паспорт. Сложность вызывает определение объемов работ по сетям инженерно-технического обеспечения, при прокладке которых большая часть строительных работ скрыта от обзора оценщика грунтом или элементами отделки. Выходом здесь является определение стоимости их строительства либо в процентах от стоимости общестроительных работ (по таблицам УПВС), либо на основе прейскурантов на строительство зданий и сооружений.

Также в укрупненных расценках (УР-2000) представлены элементы прямых затрат с выделением стоимости строительных, монтажных работ, сантехнических и электромонтажных работ, стоимости оборудования.

Сборник УПБС-2001 содержит ограниченное количество реально построенных в Санкт-Петербурге объектов-аналогов – более 700 шт., большинство объектов-аналогов имеет распределение затрат по удельному весу.

При использовании любых укрупненных расценок и показателей стоимость строительства должна определяться с учетом НДС за исключением расчета инвентаризационной стоимости объекта в целях налогообложения.

Возможность применения различных видов укрупненных показателей мы проверили на примере трех объектов: шлакоблочного склада (Санкт-Петербург, Калининский район, ул. Политехническая, д. 7, корп. 5), загородного дома из бруса (Санкт-Петербург, Выборгский район, ул. Солнечная, д. 20), подъездных ж/д путей в Санкт-Петербурге.

Результаты расчетов представлены в таблице.

Расчет стоимости строительства

Сборник	Объект	Сметная стоимость, тыс. руб.
УПВС	Загородный дом Склад Ж/д пути	5 165,111 6 802,016 3 690,194
УПСС (1969 г.)	Загородный дом Склад Ж/д пути	– 4 514,065 3 261,087
УПБС ВР	Загородный дом Склад Ж/д пути	5 077,474 6 357,770 4 852,331
ПВР	Загородный дом Склад Ж/д пути	4 102,630 5 916,532 –
ПРЗС	Загородный дом Склад Ж/д пути	– – –
УР-2001	Загородный дом Склад Ж/д пути	– – –
УдПС	Загородный дом Склад Ж/д пути	10 731,100 – –
УПСС (КО-ИНВЕСТ)	Загородный дом Склад Ж/д пути	4 360,420 8 986,700 9 784,915
УПБС-2001	Загородный дом Склад Ж/д пути	3 023,195 4 113,780 –

Выводы

В настоящее время сметная стоимость объектов недвижимости используется при оценке рыночной или инвентаризационной стоимости. Основное назначение указанных видов стоимости – информационное обеспечение рынка недвижимости, расчет налога на имущество, составление инвесторских смет для предварительной оценки заказчиком стоимости строительства.

В отличие от сметного ценообразования, применяемого в строительстве, при оценке стоимости недвижимости используются укрупненные показатели и расценки, которые в настоящее время насчитывают около девяти видов.

Как показывают расчеты, применение различных видов укрупненных показателей приводит к различным результатам в определении сметной стоимости строительства объектов недвижимости. При этом полученные результаты различны для отдельных видов объектов, разница для подъездных путей составляет 48,79%, для жилищного строительства – 70,85%, для складов – 65,35%.

Виды использованных укрупненных показателей определяются целью оценки. Если при оценке инвентаризационной стоимости в настоящее время можно использовать только УПВС (так как методика оценки определена постановлением Правительства РФ), то при оценке рыночной стоимости объектов недвижимости можно использовать любые укрупненные показатели.

При оценке инвентаризационной стоимости по УПВС целесообразно дополнить использованную методику, утвержденную Правительством РФ, путем введения коэффициента, который позволяет учесть современные нормы накладных расходов, сметной прибыли и лимитированных затрат.

Поскольку при применении укрупненных показателей были получены различные результаты, рекомендуется при окончательном определении сметной стоимости объектов недвижимости выполнять поверку экспертным методом, основываясь на мнении специалистов рынка строительства.

Библиографический список

1. **Приказ** Минэкономразвития РФ от 20 июля 2007 г. № 256 «Об утверждении федерального стандарта оценки „Общие понятия оценки, подходы к оценке и требования к проведению оценки (ФСО № 1)“».

2. **Постановление** Правительства РФ от 4 декабря 2000 г. № 921 «О государственном техническом учете и технической инвентаризации в Российской Федерации объектов капитального строительства».

3. **Приказ** Госстроя РФ и МНС РФ от 28 февраля 2001 г. № 36/БГ-3-08/67 «Об утверждении Порядка представления уполномоченными организациями технической инвентаризации в налоговые органы сведений об объектах недвижимого имущества».

4. **Приказ** Минстроя РФ от 4 апреля 1992 г. № 87 «Об утверждении порядка оценки строений, помещений и сооружений, принадлежащих гражданам на праве собственности».

5. **Сборники** укрупненных показателей восстановительной стоимости зданий и сооружений различных отраслей народного хозяйства (УПВС). – Москва, 1970.

6. **Письмо** Госстроя СССР от 6 сентября 1990 г. № 14-д «Об индексах изменения стоимости строительно-монтажных работ и прочих работ и затрат в строительстве». Экономические правонарушения в жилищно-коммунальном хозяйстве. Т. II. – Москва, 1996.

7. **Сборники** укрупненных показателей базисной стоимости на виды работ (УПБС ВР). – Москва, 1991.

8. **УПБС-2001.** Справочник инженера-сметчика и оценщика объектов недвижимости / под ред. П.В. Горячкина, В.С. Башкатова. 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург, 2009.

9. **УПСС.** Новые железные дороги / Министерствово путей сообщения. – Москва : Стройиздат, 1980. – 88 с.

10. **Определение** комплексного индекса изменения сметной стоимости строительства / А.С. Забродина // Научно-технич. ведомости Санкт-Петербург. гос. политехнич. ун-та. – 2011. – № 5 (132). – С. 82–85.

УДК 338.47.656

П. В. Герасименко
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

Г. Б. Титов
Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКОВ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Предложена методика прогнозирования сроков доставки груза железнодорожным транспортом. В отличие от действующего прогнозирования по нормативному времени, в основу методики положены регрессионные модели. Для построения моделей используется статистика реального времени транспортировки грузов и его зависимость от расстояния транспортирования. Выполненные исследования показали, что ошибка в прогнозировании срока доставки груза железнодорожным транспортом по нормированным данным в среднем составляет 40 %, а максимальная может доходить до 55 %.

прогнозирование, срок доставки груза, норма суточного пробега, регрессия, интервальная оценка, вероятность.

Введение

Своевременная доставка груза любым видом транспорта играет огромную роль в формировании имиджа грузовых компаний, соответственно, определяет число грузоотправителей, а в конечном итоге – и прибыль.

Вместе с тем, как известно, роль грузоотправителя в обеспечении нормативного срока доставки груза [1] огромная, но не единственная. Исследования по математической модели [2] показали, что вероятность перемещения груза между грузоотправителем и грузополучателем за нормативное время достаточно низкая. Исследование [3] подтвердило целесообразность продолжения совершенствования методики по расчету времени доставки груза.

1 Современная оценка времени доставки груза железнодорожным транспортом

Известно, что на время доставки груза оказывают влияние множество факторов [2], поэтому высока вероятность служебных издержек. При исследовании срока доставки груза обычно учитывается его формирование на всех маршрутах движения груза, каждый из которых включает время трех этапов: начально-конечных операций на станциях *i*-го маршрута; пробега с грузом по *i*-му маршруту; проведения отцепочного ремонта в пути следования по *i*-му маршруту.

К числу начально-конечных операций на *i*-м маршруте относят следующие операции [4]:

- уведомление о прибытии груза и о подаче груженых или порожних вагонов на подъездные пути или к фронтам погрузки (выгрузки);
- текущий ремонт порожних вагонов при их подготовке под погрузку;
- техническое обслуживание на станциях грузовых вагонов;
- техническое обслуживание и текущий ремонт контейнеров;
- осмотр вагонов в техническом и коммерческом отношении для подачи грузоотправителям под определенные грузы;
- подготовка под налив цистерн, бункерных полувагонов;

• подгруппировка вагонов для подачи под погрузку (выгрузку) определенным отправителям (получателям) и подготовка их к подаче;

• прием к отправлению (включая проверку правильности погрузки и крепления грузов на открытом подвижном составе) и выдача грузов, а также оформление перевозочных документов;

• выполнение приемо-сдаточных операций (осмотр и передача вагонов в техническом и коммерческом отношении) при передаче (приеме) вагонов на (с) подъездной путь;

• маневровая работа по расформированию поездов различных категорий (маршрутных, передаточных, вывозных, сборных), прибывших на станции погрузки, выгрузки, по предназначению вагонов и грузов, а также по формированию на станции отправления поездов различных категорий;

• маневровая работа по подаче (уборке) порожних и груженых вагонов на (с) выставочные (приемо-сдаточные) пути.

Составляющими времени маршрута являются время следования в поездах между техническими станциями, время нахождения на технических станциях под переработкой и без переработки.

В [2] для *i*-го маршрута учитывалось следующее время: на технический и коммерческий осмотры по прибытии на станцию; на ожидание подачи транспортных локомотивов; на подачу и уборку транспортных средств; на выгрузку из транспортного средства; на погрузку вагонов; на перестановку вагонов или состава; на оформление перевозочных документов; на ожидание уборки перевозочных средств; на технический и коммерческий осмотры по направлению со станции; на ожидание отправления.

Необходимо отметить, что Правила исчисления сроков доставки грузов железнодорожным транспортом позволяют определить суммарное время на все операции на основании норм суточного пробега и расстояния, на которое доставляется груз. При этом расстояние перевозки в Правилах исчисления сроков доставки грузов железнодорожным транспортом задается интервально с разными суточными нормами перемещения, что позволяет вычислять на границах интервалов минимальные и максимальные сроки доставки грузов.

В табл. 1 время доставки приведено в зависимости от расстояния доставки груза [1].

Они дополнены расчетными средними, минимальными и максимальными значениями времени, которые возникают на границах интервалов расстояний. При определении времени доставки в соответствии с требованиями Правил исчисления сроков доставки неполные сутки принимались за полные сутки (рис. 1).

2 Статистические данные и оценки реальных доставок груза железнодорожным транспортом

Как показывает анализ реального времени доставки груза на заданное расстояние, оно принимает различные значения для одного и того же расстояния, т. е. является случайной величиной.

ТАБЛИЦА 1. Время повагонных отправок

Интервал расстояния L_i, км	Норма суточного пробега, км	Среднее расстояние, км	Нормированное время T, сутки		
			Среднее	Минимальное	Максимальное
До 199	110	100	2	1	2
200–599	160	400	3	2	4
600–999	240	800	4	3	5
1000–1999	310	1500	6	4	7

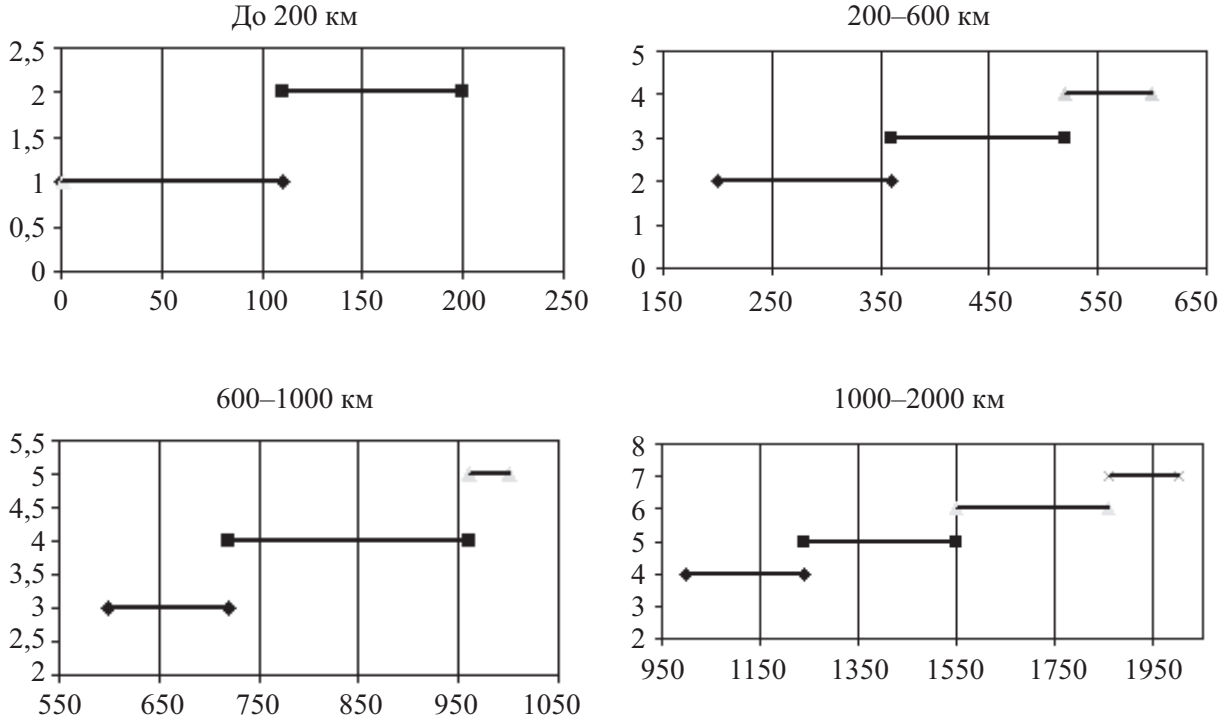


Рис. 1. Зависимость нормированного времени от расстояния перевозок

В табл. 2 для 12 расстояний перевозки груза представлены опытные значения реального времени, среди которых выделены максимальные и минимальные сроки доставки груза, также приведены оцененные числовые характеристики: средние значения, дисперсии

ТАБЛИЦА 2. Время повагонных доставок груза железнодорожным транспортом

Номер перевозки n_i	Расстояние L_i, км	Число наблюдаемых перевозок	Время доставки груза T, сутки				
			Min	Max	Ср. значение	Дисперсия	СКО
1	675	19	2,63	4,13	3,34	0,16	0,40
2	770	30	2,30	4,21	2,91	0,21	0,45
3	1145	36	2,90	5,78	4,26	0,58	0,76
4	1164	20	3,53	6,84	4,72	0,95	0,98
5	1250	23	3,91	8,64	5,73	1,59	1,23
6	1395	80	3,19	10,16	4,68	1,44	1,20
7	1422	68	3,08	7,58	4,78	0,84	0,92
8	1496	33	2,96	8,11	5,55	1,43	1,20
9	1569	33	3,11	7,01	4,90	1,08	1,04
10	1674	23	4,50	8,23	6,43	1,50	1,22
11	1734	43	3,62	8,31	5,44	0,98	0,99
12	1976	49	4,36	8,49	6,41	1,53	1,24

и среднее стандартное отклонение времени доставки.

На основе табличных значений построены функции регрессии средних и экстремальных значений реального времени доставки, а также средних и нормированных значений сроков доставки (рис. 2).

Графики зависимостей функций регрессии и их аналитический вид представлены на рис. 3 и 4. С использованием регрессионного анализа построены зависимости, даны оценки качества построенных регрессионных зависимостей и параметров (коэффициентов) количественных соотношений между показателями формализованных соотношений.

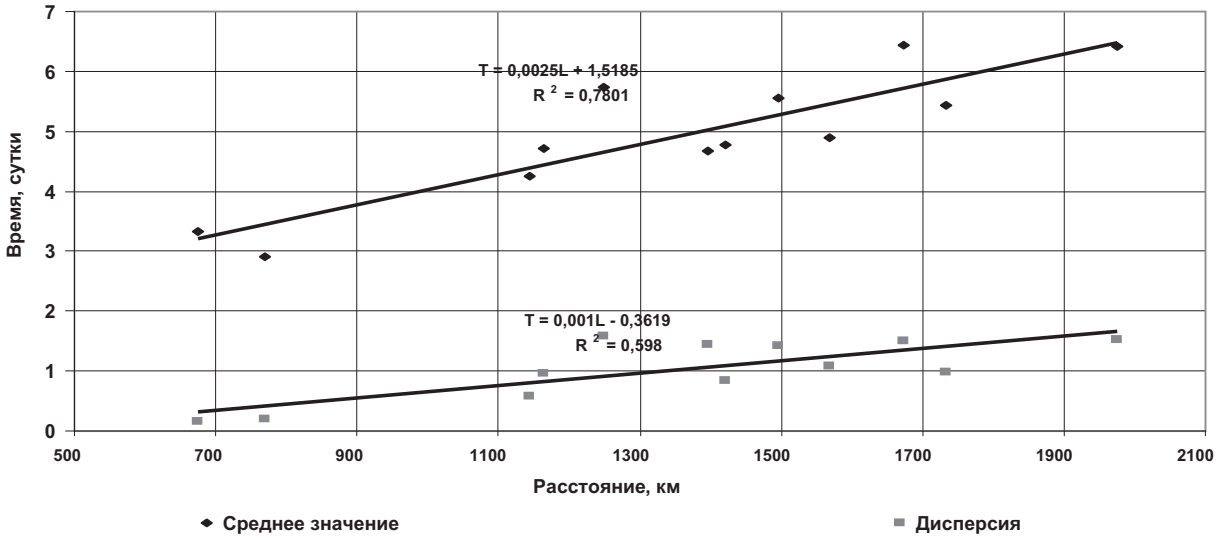


Рис. 2. Зависимость от расстояния среднего значения и дисперсии опытных значений времени доставки груза

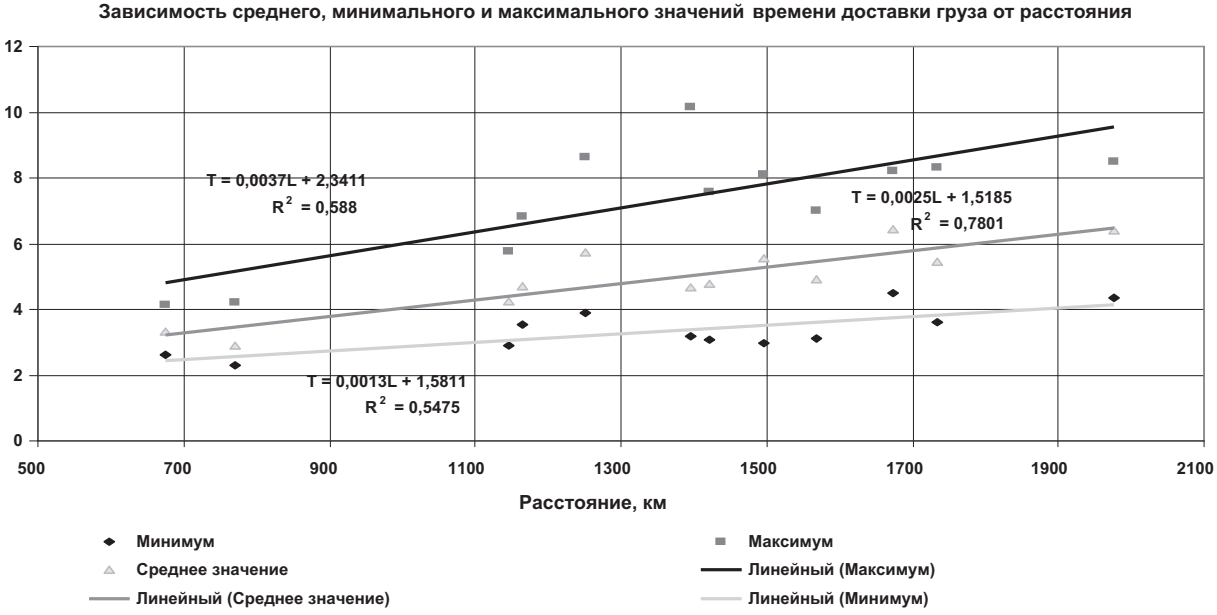


Рис. 3. Зависимость от расстояния доставки груза среднего значения и значений доверительного интервала времени доставки

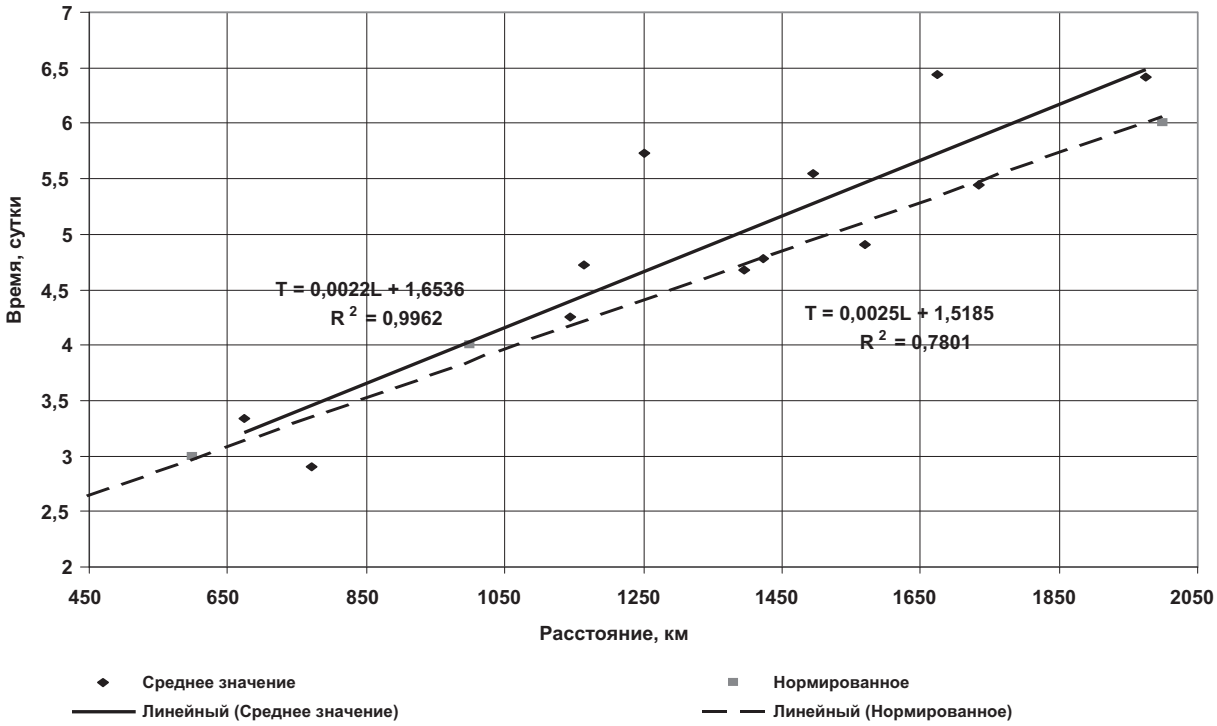


Рис. 4. Зависимость от расстояния нормативного и среднего опытного значения времени доставки груза

3 Методика прогнозирования доставки груза

Анализ табличных значений и сравнение средних опытных значений с нормированными значениями времени доставки (рис. 3, 4) позволяет сделать заключение о возможности больших ошибок при прогнозировании сроков доставки грузов по нормированному времени.

В прогнозных расчетах по уравнению регрессии при прогнозируемом значении расстояния F определяется ожидаемое значение срока доставки $T(F)$. Такой прогноз является точечным, поскольку он определяет точку на числовой оси. Вместе с тем, точечный прогноз ошибочен, так как величина $N(P)$ случайна.

Более корректен прогноз с использованием интервальной оценки времени доставки груза, это позволяют выполнить статистические данные перевозки грузов.

Действительно, реальные статистические данные дают возможность построить математическую модель, которая по случайной составляющей позволяет установить окрестность точечной оценки (доверительный интервал), которая с определенной вероятностью накроет истинное значение результата.

Таким образом, точечный расчет результирующей переменной $N(P)$ должен быть дополнен интервальной оценкой прогнозируемого значения, которая имеет вид

$$T(F) - m_T \le T^* \le T(F) + m_T,$$

где T^* – истинное значение результирующего показателя, принятое как условное среднее значение; $m_{\hat{N}_P} = t_{1-\alpha,n-2} \cdot S_T$; $t_{1-\alpha,n-2}$ – табличное значение t-распределения Стьюдента с $n-2$ степенями свободы на уровне значимости $\alpha = 0{,}05$; $S_T = S\sqrt{1+\frac{1}{n}+\frac{(T-\overline{T})^2}{\sum_{k=1}^{n}(T_i-\overline{T})^2}}$ – оценка среднеквадратичного отклонения времени доставки груза (стандартная ошибка).

В табл. 3 приведены предельные значения доверительных интервалов в зависимости от расстояния транспортировки груза. На рис. 5 дано графическое представление аппроксимации линейных функций регрессии предельных значений (линий максимального и минимального значений) доверительного интервала и геометрическое изображение зависимостей от

ТАБЛИЦА 3. Значения времени доверительного интервала

Расстояние, км	Среднее время, сутки	СКО, сутки	Доверительный интервал	
			min	max
675	3,34	0,40	2,33	4,35
770	2,91	0,45	1,71	4,10
1145	4,26	0,76	2,46	6,05
1164	4,72	0,98	2,45	6,99
1250	5,73	1,23	2,81	8,64
1395	4,68	1,20	1,89	7,47
1422	4,78	0,92	2,65	6,90
1496	5,55	1,20	2,74	8,36
1569	4,90	1,04	2,49	7,31
1674	6,43	1,22	3,37	9,49
1734	5,44	0,99	3,12	7,76
1976	6,41	1,24	3,33	9,49

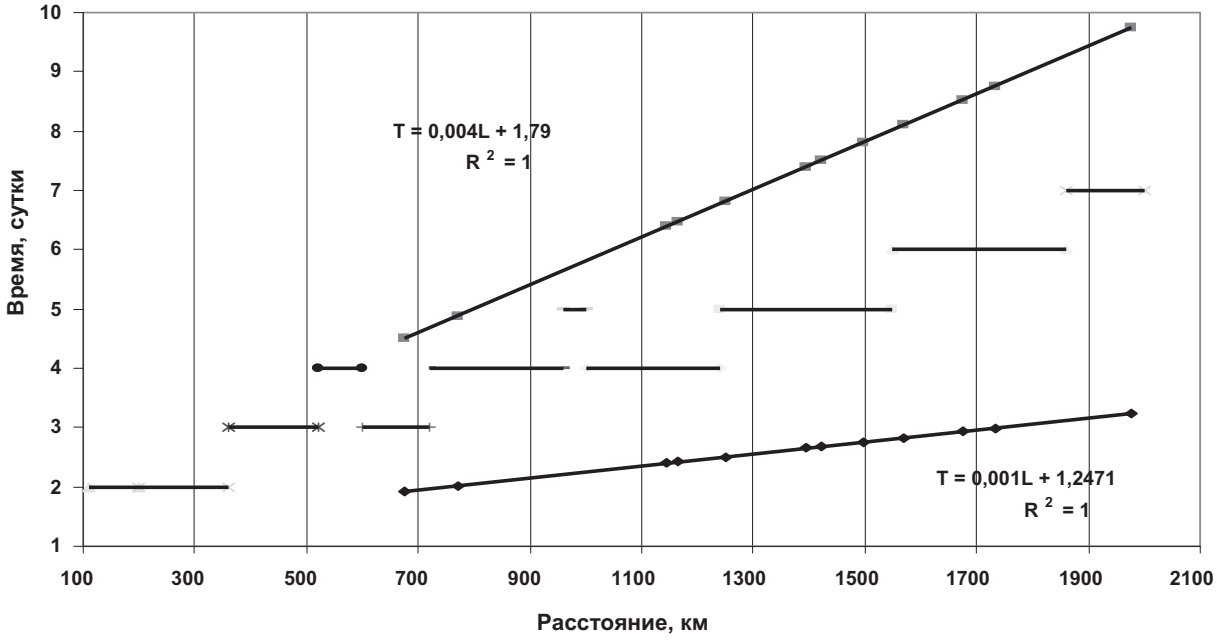


Рис. 5. Положение нормативных значений времени доставки груза относительно доверительного интервала

расстояний нормированных значений времени доставки груза.

Как видно из рис. 5, все нормированные значения времени доставки груза располагаются внутри доверительного интервала, т. е. реальное время доставки груза превышает его нормированные значения.

Учитывая, что нормативное время на плоскости координат «расстояние – время доставки груза» располагается внутри области, ограниченной линиями предельных значений доверительного интервала, интересно оценить погрешности, которые возникают в результате прогнозирования сроков доставки груза железнодорожным транспортом с помощью нормативного времени. В табл. 4 даны вычисленные абсолютные погрешности как разность максимальных предельных значений времени доставки доверительного интервала и нормированных значений времени и относительные погрешности как отношение абсолютных погрешностей к нормированному значению.

ТАБЛИЦА 4. Погрешности при прогнозировании с интервальным и нормированным временами доставки груза

Расстояние, км	Нормированное время	Max время доверительного интервала	Разность между значениями времени	Относительная разность, %
675	3	4,5	1,5	50,00
770	4	4,9	0,9	22,50
1100	4	6,2	2,2	55,00
1600	6	8,3	2,3	38,33
2000	7	9,6	2,6	37,14

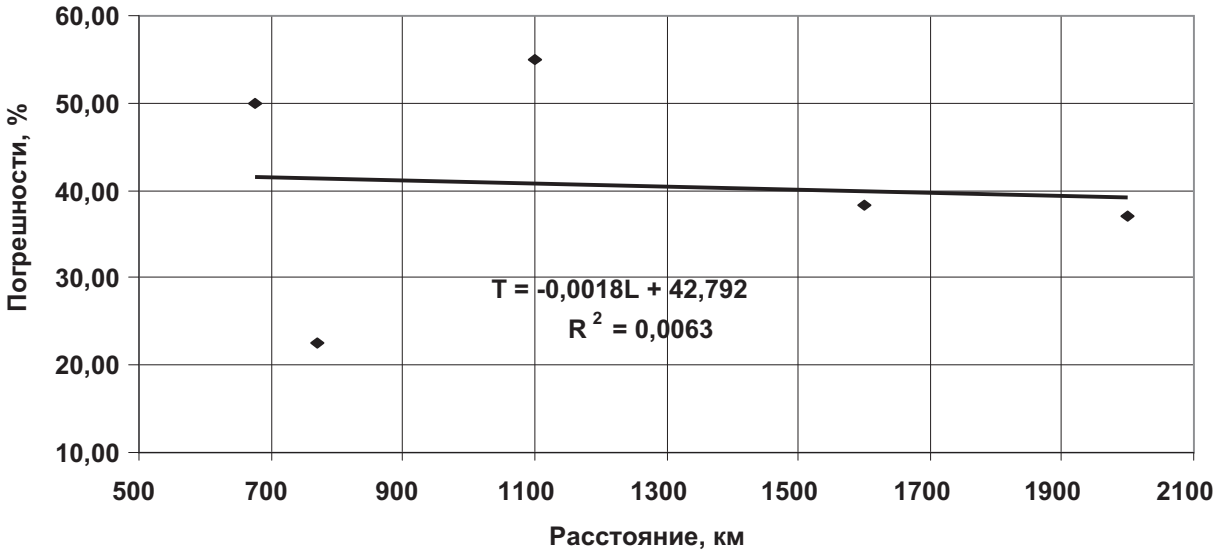


Рис. 6. Функция регрессии зависимости от расстояния относительной погрешности оценки с доверительным интервалом и нормированным временем

На рис. 6 представлена линейная регрессионная зависимость от расстояния относительных погрешностей прогнозирования с помощью нормированных значений сроков доставки груза.

Эта зависимость показывает, что погрешность на большом интервале расстояния доставки груза практически постоянная, но достаточно большая.

Заключение

Исследования показали, что ошибка в прогнозировании срока доставки груза железнодорожным транспортом по нормированным данным в среднем составляет 40 % (рис. 6) и максимально может доходить до 55 % (табл. 4).

Библиографический список

1. **Правила** исчисления сроков доставки грузов железнодорожным транспортом от 18 июня 2003 г. № 27. – Москва, 2003.

2. **Методика** оценки вероятности своевременной доставки груза железнодорожным транспортом / Г. Б. Титов // Изв. ПГУПС. – 2013. – Вып. 2 (35) – С. 81–86.

3. **Оценивание** рисков необеспечения своевременной доставки груза железнодорожным транспортом / П. В. Герасименко, Г. Б. Титов // Материалы 8-й Междунар. науч.-практич. конф. – Киев : Гос. экономико-технологический ун-т транспорта, 2013. – С. 293–295.

4. **О составе** работ и услуг, входящих в тарифы на перевозки грузов от 7 июля 1998 г. № В-6376. – Москва, 2003.

УДК 004.42

В. Н. Кустов
ООО «УЦ Газинформсервис»

С. А. Кирюшкин, Т. Л. Станкевич
ООО «Газинформсервис»

О ПОДХОДАХ К АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА АУДИТА ОПЕРАТОРОВ СЕРВИСОВ ДОВЕРИЯ

В настоящее время в РФ соответствие сервисов инфраструктуры открытых ключей требованиям руководящих документов оценивают без применения средств автоматизации. При этом человеческий фактор может стать причиной неточностей, больших временны́х затрат. Также в РФ отсутствует единая система комплексного аудита, необходимая для оценки правильности функционирования всех элементов инфраструктуры открытых ключей. В статье рассмотрен подход к автоматизации системы оценки сервисов, перечислены основные элементы, которые должны подвергаться аудиту в рамках создания системы комплексного аудита. Подобные разработки позволят значительно сократить время проведения сертификационных испытаний, повысить точность оценки системы, выявить причины ошибок.

комплексный аудит, система оценки соответствия, удостоверяющий центр, аудит по WebTrust, Data Validation and Cerification Server (DVCS), валидация пути сертификатов.

Введение

Вопросы оценки соответствия (входного и периодического текущего контроля) состояния организационно-технических систем установленным руководящими документами требованиям и нормам – неотъемлемая часть создания и функционирования гармонизированных, эффективных информационных систем. Единое пространство доверия (ЕПД) в информационной среде как инфраструктура доверия современного электронного государства, несомненно, должно быть именно такой системой. Однако в РФ к настоящему времени не существует системы комплексного аудита элементов ЕПД (т. е. такого аудита, который охватывал бы техническую, организационную, финансово-экономическую и юридическую составляющие системы), данные которого используются для оценки соответствия. Но есть международные примеры таких решений, к которым относится, прежде всего, программа WebTrust для центров сертификации.

ЕПД представляет собой систему технологических и организационных мероприятий, направленных на обеспечение юридически значимого и безопасного электронного взаимодействия органов власти, юридических и физических лиц как одного, так и нескольких государств с использованием технологии электронной подписи. Основой функционирования ЕПД является Public Key Infrastructure (PKI) – инфраструктура открытых ключей. Чтобы быть уверенными в правильности функционирования всех компонент PKI (центра регистрации, репозитория, центра сертификации, электронного архива длительного хранения), необходимо наличие единой системы технологий оценки соответствия сервисов, представляемых PKI, существующим рекомендациям и стандартам.

Таким образом, базовое понятие ЕПД должно быть расширено и подразумевать как возможность проверки электронной подписи (ЭП) документа, так и единую систему технологий оценки. Единая система технологий оценки необходима для получения международного сертификата, подтверждающего, что процессы в организации соответствуют лучшим мировым практикам. Подобное решение приводит WebTrust в Руководящем документе «Webtrust for certification authorities – extended validation audit criteria». Согласно этому документу, каждый удостоверяющий центр (УЦ), желающий заниматься выпуском сертификатов, должен подвергаться расширенному аудиту независимой третьей стороной (аудитором) [1]. Существуют определенные требования, соответствие которым проверяет аудитор.

1 Основные элементы комплексного аудита согласно программе WebTrust для центров сертификации

Основные параметры, которые контролирует аудитор при проведении сертификации УЦ:

1) на своем веб-сайте УЦ и корневой УЦ раскрывают практики, политики и процедуры проверки сертификатов; указывают на свое соответствие руководящим документам. УЦ публикует руководящие документы о порядке отзыва сертификатов, предоставляет пользователям услуг подробные инструкции о порядке действий в случае компрометации закрытого ключа или каких-либо видов мошенничества;

2) УЦ должен стать гарантом того, что информация о пользователе корректно собрана и проверена, а целостность ключей и сертификатов обеспечивается на протяжении всего их жизненного цикла. При этом аудиту подвергаются:

- профиль пользователя;
- содержание сертификата;
- заявки на расширенный сертификат;
- требования к проверке информации (например, проверка юридического существования организации, названия, регистрационного номера; принадлежность к родительской, дочерней компании или филиалу; законность существования и подобное);
- статус сертификата;

• уровень квалификации сотрудников и вопросы третьей стороны;

• вопросы данных и записей (например, процессы генерации, копирования, восстановления, архивации и уничтожения ключей; события управления жизненным циклом криптографических устройств и подобное).

Таким образом, аудит по описанию WebTrust представляет собой комплексный процесс, каждая составляющая которого включает организационные мероприятия, напрямую зависящие от квалификации специалистов, а также техническую составляющую, призванную облегчить работу сотрудников.

2 Подход к автоматизации процесса оценки соответствия сервисов требованиям Руководящих документов

Процесс оценки соответствия сервисов УЦ требованиям и стандартам с технической точки зрения можно автоматизировать, что приведет к повышению точности оценок и сокращению времени тестирования и анализа результатов. Автоматизировать процесс можно, например, в виде системы аудита, вносящей записи в журнал событий, и программы – анализатора записей. В программу-анализатор импортируются записи журнала событий, выполняется оценка соответствия полученных результатов тестирования системы эталонам, установленным руководящими документами.

Национальный институт стандартов и технологии США (National Institute of Standards and Technology – NIST) разрабатывает серии криптографических тестов и тестов интероперабельности PKI. Созданные наборы тестов позволяют разработчикам и тестовым лабораториям определять соответствие программ/продуктов PKI стандарту X.509 (стандарт, определяющий форматы данных и процедуры распределения открытых ключей с помощью сертификатов с ЭП, которые предоставляются сертификационными органами – УЦ) [2]. NIST открыто публикует информацию, необходимую для выполнения этих тестов (например, описание каждого теста, ожидаемые результаты теста, любые сертификаты/ключи, списки отозванных сертификатов, необходимые для выполнения тестов и т. п.).

Подобные предложения и соответствующие наборы тестов – это задача, которая требует от разработчиков высокой квалификации и профессионального уровня знаний по предмету тестирования. Соответственно, и автоматизация процесса тестирования системы предполагает высокую сложность и трудоемкость, требует соответствующих знаний и привлечения высококвалифицированных специалистов.

До настоящего времени проверку соответствия продуктов требованиям и стандартам выполняют вручную.

В практике российской PKI, пожалуй, что-то подобное проводится при выполнении процедур подтверждения соответствия (сертификации, декларировании) продуктов. Специфика при этом такова, что значительная часть требований на соответствие X.509 в РФ отсутствует. Следовательно, можно утверждать, что автоматизированных методик комплексной оценки соответствия в РФ нет. Мы же в данной работе ориентируемся на широкий спектр PKI-функционала, что, как известно, лежит далеко за рамками отечественного регулирования. Между тем задача создания ЕПД предполагает наличие общих требований по всему спектру функций.

Рассмотрим примеры тестов, которые могут быть автоматизированы.

2.1 Автоматизация процесса оценки соответствия сервиса требованиям на примере Data Validation and Certification Server

В инфраструктуре открытых ключей существует такое требование к сервису доверенной третьей стороны Data Validation and Certification Server (DVCS – сервис, обеспечивающий подтверждение действительности сертификата ключа подписи, удостоверение

обладания информацией в конкретный момент времени и подтверждение электронной подписи документа): «DVCS должен включать строго монотонно возрастающий серийный номер в каждой квитанции». В журнале аудита хранятся записи (квитанции) о полученных результатах обработки запросов к сервису DVCS. Каждая квитанция в зависимости от типа запроса к сервису имеет свой идентификатор. Из журнала аудита (табл. 1) по идентификатору программа-анализатор извлекает соответствующую запись, а из записи – все необходимые данные для выполнения теста (в квитанции содержатся переменные с соответствующим значением). Допустим, серийный номер квитанции сохраняется в записи журнала аудита в качестве значения переменной SerialNumber. Программа-анализатор выбирает из всех событий с идентификатором id = 1 значения переменных SerialNumber и проверяет, что номера квитанций имеют строго возрастающий номер. Блок-схема проверки серийных номеров квитанций представлена на рис. 1.

Согласно приведенной блок-схеме разрабатывается исходный код модуля автоматизации процесса тестирования, который компилируется. Результат выполнения такого теста заносится в шаблон протокола в автоматическом режиме в ходе работы программы-анализатора.

Такие правила анализа предполагается создать по каждому требованию стандартов и рекомендаций для конкретного сервиса (в нашем случае сервиса ДТС – DVCS), что позволит автоматизировать анализ аудита при сертификационных и аттестационных испытаниях.

2.2 Автоматизация процесса оценки соответствия сервиса требованиям на примере валидации пути сертификатов

Рассмотрим еще один пример автоматизации процесса оценки соответствия сервисов – проверку валидности пути сертификатов.

Предполагается наличие на сервере УЦ журнала аудита, в котором хранятся записи по каждому запросу к ДТС, в том числе проверка валидности цепочки сертификатов. При этом каждая запись хранит значения переменных, использованных в проверке пути. Программа-анализатор извлекает из записи (с соответствующим объектным идентификатором, в примере id = 678) все необходимые переменные и затем проверяет ответ, полученный пользователем от УЦ на запрос проверки валидности сертификата, и фактический результат проверки.

Порядок валидации следующий. Прежде чем сертификат станет доверенным, выполняется проверка того, что он получен из надежного источника. Подтверждение пути включает обработку сертификатов открытых

ТАБЛИЦА 1. Журнал аудита

№ п/п (*i*)	Идентификатор запроса (id)	Содержимое квитанции (переменные)
0	1	X=…, Y=…, …, SerialNumber=…
1	1	X=…, Y=…, …, SerialNumber=…
2	4	X=…, Y=…, …, SerialNumber=…
…	…	…
k – 1	1	X=…, Y=…, …, SerialNumber=…
k	1	X=…, Y=…, …, SerialNumber=…

где *k* – число записей в журнале аудита; *i* – *i*-я запись в журнале аудита.

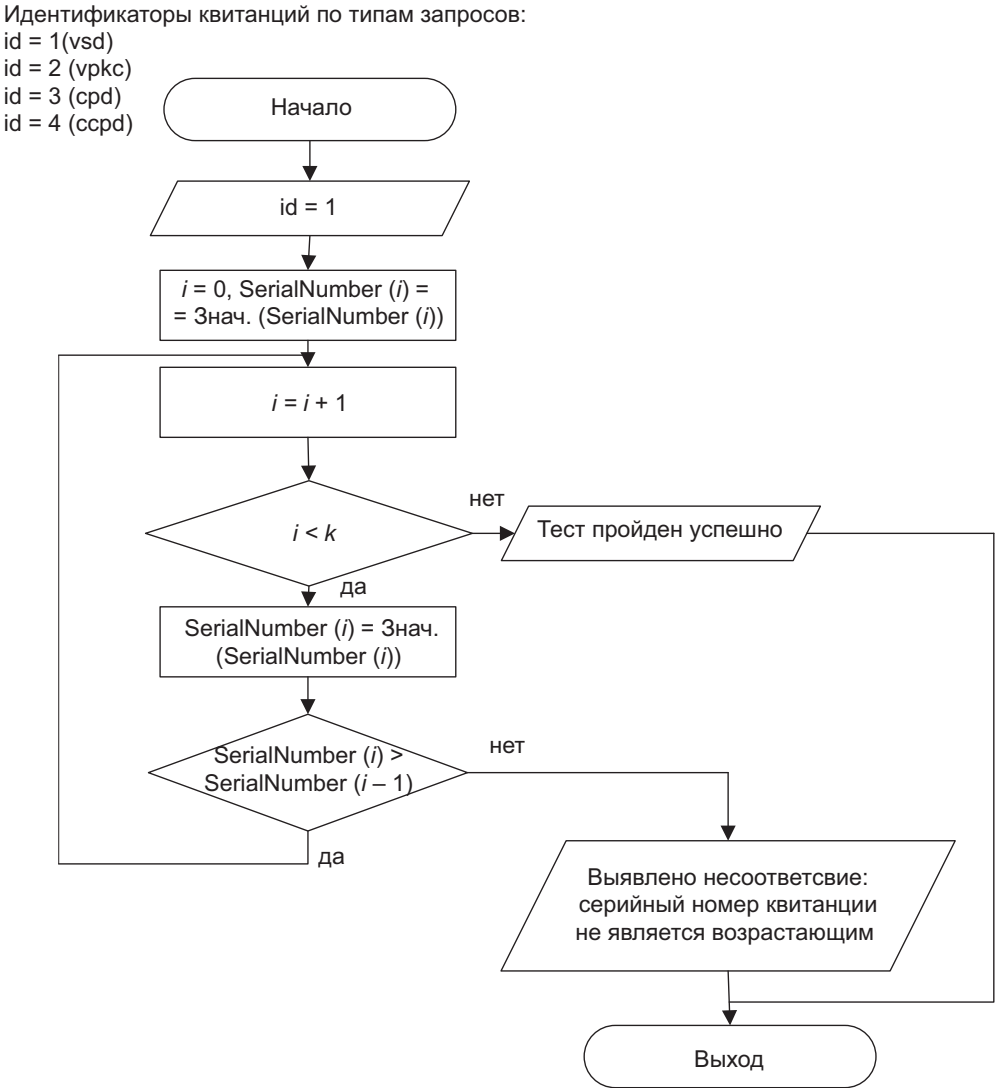


Рис. 1. Блок-схема проверки серийного номера квитанций

ключей и сертификатов соответствующих издателей по иерархической структуре вплоть до завершения пути сертификатов доверенным самозаверенным сертификатом. Если при обработке одного из сертификатов в пути возникает проблема или не удается найти сертификат, путь сертификатов считается ненадежным. Рассмотрим такую проверку более подробно.

Обработка последовательности сертификатов состоит из двух этапов:

1) построение пути, которое заключается в агрегировании всех сертификатов, необходимых для формирования полного пути;

2) валидация пути, которая включает последовательную проверку каждого сертификата последовательности и определение надежности соответствующего открытого ключа.

Путь сертификатов считается валидным, если образующая его последовательность сертификатов удовлетворяет следующим условиям:

1) первый сертификат издан точкой доверия;

2) последний сертификат издан для данного конечного субъекта и содержит данный открытый ключ;

3) имена издателей и субъектов сертификатов образуют последовательность. Во всех сертификатах этой последовательности за исключением первого и последнего имя издате-

ля текущего сертификата совпадает с именем субъекта предыдущего сертификата;

4) период действия всех сертификатов не истек, т. е. все сертификаты последовательности на момент валидации являются действующими.

Этот набор условий необходим, но не достаточен для того, чтобы последовательность сертификатов была валидной. Помимо перечисленных условий должны анализироваться и обрабатываться содержащиеся в сертификатах пути основные ограничения, а также ограничения на имена и политики. Эта обработка выполняется за четыре основных шага:

1) инициализация;

2) базовая проверка сертификата;

3) подготовка следующего сертификата в последовательности;

4) завершение.

На этапе инициализации в зависимости от входных параметров устанавливаются переменные состояния, необходимые для валидации пути сертификатов. В переменных состояния сохраняются различные ограничения, учитываемые при валидации пути. Переменные состояния делятся на четыре группы.

Первая группа переменных состояния используется для сохранения информации, необходимой для верификации ЭП: открытого ключа, связанных с ним параметров и названия алгоритма ЭП (Subject Public Key Information).

Вторая группа переменных состояния предназначена для сохранения информации о цепочке имен и длине пути сертификатов (Path Validation). Переменная состояния отличительного имени ожидаемого издателя (Issuer Alternative Name) используется для подтверждения корректной связи между отличительным именем издателя и отличительным именем субъекта (Subject Alternative Name) в последовательности сертификатов. Переменная состояния длины пути (Path Length) отражает максимальное число сертификатов в последовательности.

Третья группа переменных состояния применяется для сохранения информации о политиках применения сертификатов, образующих последовательность.

Четвертая группа переменных состояния отслеживает правильность именования (Valid Name). Для каждого типа имени должны анализироваться разрешенные и запрещенные поддеревья в иерархической структуре имен.

Как только все переменные состояния инициализированы, осуществляется базовый контроль первого сертификата в последовательности, который включает проверку:

1) срока действия сертификата;

2) статуса сертификата;

3) подписи сертификата;

4) цепочки имен;

5) политики применения сертификатов;

6) ограничений на имена.

ТАБЛИЦА 2. Журнал аудита

№ п/п	Идентификатор запроса (id)	Содержимое квитанции (переменные)
0	4	X=…, Y=…, …, SerialNumber=…
1	1	X=…, Y=…, …, SerialNumber=…
2	4	X=…, Y=…, …, SerialNumber=…
…	…	…
q – 1	678	SubjectPublicKeyInformation=…, ParthValidation=…
q	678	SubjectPublicKeyInformation=…, ParthValidation=…

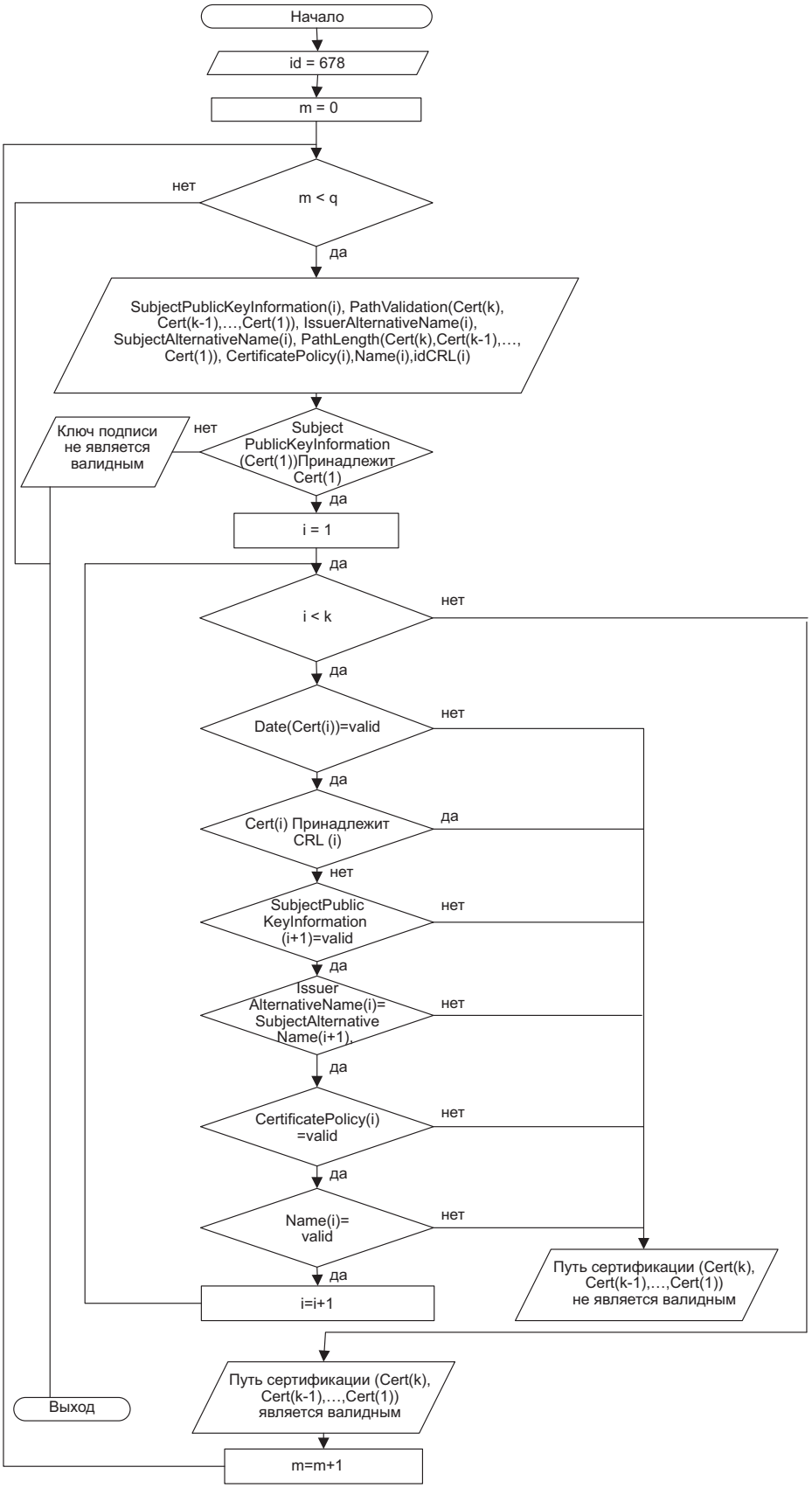


Рис. 2. Блок-схема проверки пути сертификатов

Если хотя бы одна из проверок заканчивается неудачно, то путь сертификатов не признается валидным. Если все проверки завершаются успешно, то происходит переход к следующему сертификату в последовательности и выполняется базовый контроль сертификата.

Блок-схема проверки валидности пути сертификатов (по табл. 2) представлена на рис. 2, где q – число записей в журнале аудита; k – число сертификатов в цепочке; m – m-я запись в журнале аудита; i – i-й сертификат в цепочке.

Заключение

Одной из областей применения подобного средства автоматизации станет труд разработчиков PKI-ориентированного программного обеспечения. Но тогда эти средства автоматизации должны будут сертифицироваться на корректность реализованных проверок и их соответствие семейству стандартов и рекомендаций X.509. Когда у нас будет такой инструментарий, нашим разработчикам это существенно облегчит работу, и мы сможем избежать ситуаций, когда один браузер обрабатывает цепочки сертификатов иначе, чем другой.Таким образом, разработка средств автоматизации оценки соответствия сервисов установленным требованиям и нормам сможет облегчить труд специалистов и сделать результаты тестирований более точными и совершенными, сократить время тестирования системы. Разработка единой системы комплексного аудита элементов ЕПД – это основа создания эффективной, гармонизированной и соответствующей международным стандартам информационной системы.

Библиографический список

1. **Webtrust** for certification authorities – extended validation audit criteria. Version 1.4 [Электронный ресурс]. – URL : http://www.webtrust.org/homepage-documents/item72055.pdf (дата обращения 25.03.2014).

2. **Public** key interoperability test suite (PKITS) certification path validation. Version 1.0.1. [Электронный ресурс]. – URL : http://csrc.nist.gov/groups/ST/crypto_apps_infra/documents/PKITS.pdf (дата обращения 27.03.2014).

УДК 336.226 (075)

Е. А. Федоров, Л. Г. Баранова, В. С. Федорова
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

НАЛОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ КАК ЭЛЕМЕНТ НАЛОГОВОГО АДМИНИСТРИРОВАНИЯ

Отношения организации с государством по поводу создания и потребления налоговых платежей выражаются во взаимоотношениях организации с органами государственного управления. В рамках настоящей работы речь идет о взаимоотношениях организации с налоговыми органами в процессе налогового администрирования. Налоговое администрирование рассматривается авторами как комплекс мер по реализации важнейшей задачи налоговых органов – обеспечению поступлений налоговых платежей в бюджет в том объеме, который необходим для финансирования государственных расходов. Для решения этой задачи необходима четко отлаженная и эффективно действующая организация налогового контроля.

налоги, налоговые органы, налоговый контроль, налоговое бремя организации.

Введение

Одной из наиболее острых проблем совершенствования налоговых отношений является повышение эффективности налогового администрирования. Решение этой проблемы является приоритетным направлением налоговой политики государства [1]. Эффективность системы налогового контроля, по мнению авторов, определяется, с одной стороны, полнотой поступления налогов в бюджет государства, а с другой – уровнем налоговых издержек, т. е. затрат государства на содержание своего фискального аппарата. В идеале функционирование системы налогового контроля должно способствовать созданию запаса прочности бюджета для снижения налогового бремени, которое, в свою очередь, оказывает стимулирующее воздействие на развитие экономики [2].

При этом не следует забывать, что в процессе налогового контроля возможно столкновение интересов налогоплательщиков и государства. Нередкие конфликты налогоплательщиков и налоговых органов, по нашему мнению, свидетельствуют о необходимости уточнить понятие объекта налогового контроля и налогового администрирования.

1 Объект налогового администрирования и налогового контроля

Факт государственной регистрации организации означает в том числе образование субъекта, обязанного генерировать доходы государства в виде налогов, сборов и отчислений. Исходя из требований общественного договора, выраженного в законодательстве нынешней социально-экономической формации, организация должна создать особый продукт – налоговое бремя, потребителем которого является государство. Налоговое бремя как продукт деятельности отлично от продуктов организации, создаваемых ей исходя из отраслевой принадлежности для удовлетворения интересов покупателей, заказчиков, инвесторов и учредителей.

Особый характер налогового бремени как продукта деятельности организации определяется следующими критериями:

• формой представления потребителю – преимущественно в денежной форме;

• технологией формирования потребительной стоимости продукта – в рамках финансового цикла организации, оптимизация которого обеспечивает генерирование денежной суммы, уплачиваемой в бюджет в установленные сроки в необходимом объеме;

• особым характером потребления налогового бремени – государством, в том числе в интересах организации, так как служит основой финансирования государственных программ экономического развития.

Отношения организации с государством по поводу создания и потребления налогового бремени выражаются во взаимоотношениях организации с органами государственного управления. В рамках настоящей работы речь идет о взаимоотношениях организации с налоговыми органами. Именно в рамках этих взаимоотношений предметом исследования является налоговое бремя организации. Главный вопрос заключается в определении содержания таких отношений.

Суть функционирования налоговых органов заключается в налоговом администрировании. По нашему мнению, налоговое администрирование представляет собой особый вид управленческой деятельности, цель которой – привести организацию в состояние налогоплательщика, соответствующего интересам государства. Достижение такой цели выражается в полноте уплаты в бюджет соответствующих налогов. Совершенно абсурдно достигать такой цели, нарушая нормальный ритм финансово-хозяйственной деятельности налогоплательщика или требовать от него дополнительных затрат на урегулирование взаимоотношений с налоговыми органами. При достижении цели налогового администрирования необходимо решать две взаимосвязанные задачи:

• пополнение бюджета – сбор налогов;

• создание условий для нормальной работы организации – предоставление отсрочек, налоговых кредитов и т. п.

Без понимания этих задач налоговое администрирование может стать, а по сути, является тормозом предпринимательской активности в обществе.

Снять все возможные отрицательные последствия можно, если четко структурировать последовательность налогового администрирования. Ее элементами являются:

• планирование, прогнозирование. Их цель заключается в определении объема налогового бремени, генерируемого налогоплательщиками в рамках планируемого периода. Методика возможно только одна – налоговая статистика;

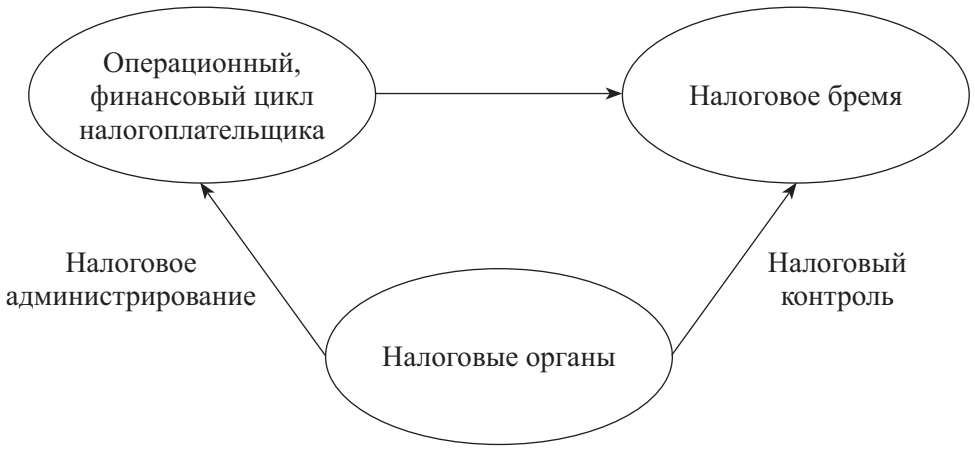
• учет. В данном случае речь идет о сборе, обработке, обобщении сведений о текущем состоянии расчетов организации по налоговому бремени. Для этого проводятся налоговые проверки. По нашему мнению, главный вопрос налоговой проверки заключается в установлении причин, по которым организация смогла сгенерировать только декларируемую величину денежного потока на уплату налогов, сборов и отчислений. Важными объектами такой проверки являются операционный и финансовый цикл организации;

• контроль. На этом этапе выясняются причины отклонений фактического значения налогового бремени от значения, установленного на этапе планирования;

• анализ. При этом разрабатываются мероприятия для воздействия на причины отклонений, выявленные на предыдущем этапе.

Предложенная структура налогового администрирования, по нашему мнению, должна обеспечивать новое содержание работы налоговых органов. При этом налоговый контроль – это, по сути, совокупность процедур проверки, проводимых в момент контакта налоговых органов с налогоплательщиком. Представитель налоговых органов к началу налоговой проверки должен иметь свое представление о значении налогового бремени проверяемой организации, сформированное на основе статистических данных. В процессе проверки его главная задача – установить, почему его представление о налоговом бремени отличается от налогового бремени, декларируемого организацией-налогоплательщиком. В сравнении с этой задачей проверка правильности исчисления декларируемого организацией налогового бремени является частным этапом.

Взаимосвязь налогового администрирования и налогового контроля представлена на рисунке.



Взаимосвязь налогового администрирования и налогового контроля

2 Современные проблемы взаимоотношений налогоплательщиков и налоговых органов в процессе налогового контроля

Нельзя не отметить, что имеющиеся в настоящее время способы проведения налогового контроля далеки от совершенства и даже могут наносить вред налогоплательщику вследствие их фискальной ориентации. Кроме того, нередко возникают злоупотребления со стороны контролирующих органов, при этом методы реального привлечения этих органов к ответственности пока не разработаны. Таким образом, получается, что современный налоговый контроль в России – это игра в одни ворота.

Налоговые инспекторы наделены широкими полномочиями в сфере контроля за правильностью исчисления и своевременностью уплаты налогов. Согласно Налоговому кодексу, налоговый контроль проводится должностными лицами налоговых органов в различных формах: посредством налоговых проверок, получения объяснений налогоплательщиков, налоговых агентов и плательщиков сборов, проверки данных учета и отчетности, осмотра помещений и территорий, используемых для извлечения дохода (прибыли), а также в других формах (ст. 82 НК). Однако к судебным тяжбам между налогоплательщиками и налоговыми органами чаще всего приводят именно налоговые проверки. Попробуем проанализировать причины возникающих конфликтов и выявить болевые точки камеральной и выездной проверок.

1) *Сроки.* Сроки проведения налоговых проверок строго регламентированы Налоговым кодексом. Так, согласно ст. 88, срок проведения камеральной проверки ограничен тремя месяцами, причем увеличить этот срок можно только в одном случае: если до окончания камеральной проверки налогоплательщик представит налоговому органу уточненную налоговую декларацию. В этом случае камеральная проверка ранее поданной декларации прекращается и начинается новая камеральная проверка, в отношении которой действует тот же предельный срок – три месяца, только течение этого срока начинается со дня представления уточненной декларации. Но это – в теории. На практике налоговые затягивают сроки камеральных проверок (об этом свидетельствуют результаты внутренних проверок, проводимых федеральной налоговой службой в рамках надзора за деятельностью подведомственных налоговых органов). При этом страдает бюджет, на страже интересов которого должны стоять налоговики. Дело в том, что когда налог заявлен к возмещению, налоговый орган обязан заплатить налогоплательщику проценты за каждый день просрочки. Несмотря на явное нарушение предусмотренного Кодексом срока проведения проверки, налоговый орган не лишается права требовать от налогоплательщика уплаты выявленной в ходке проверки суммы недоимки и пени. А вот призвать к ответу нерадивых инспекторов, увы, не получится, так как Кодекс не предусматривает таких санкций применительно к налоговым органам. Ответственность налоговиков за нарушения налогового законодательства вообще прописана в Налоговом кодексе недостаточно четко. По нашему мнению, давно назрела необходимость законодательно закрепить ответственность налоговых органов, в частности, за процессуальные нарушения при проведении проверок.

Следует отметить, что в отношении выездных проверок налоговые органы также не всегда соблюдают установленные Кодексом ограничения по времени проведения. Регламентируя продолжительность проведения выездных проверок, законодатель исходил из принципа недопустимости избыточного или неограниченно по продолжительности применения мер налогового контроля. В установленный ст. 89 НК двухмесячный срок включаются только те периоды, которые напрямую связаны с нахождением проверяющих на территории налогоплательщика: время проведе-

ния инвентаризации, осмотра (обследования) территорий и помещений, используемых налогоплательщиком для извлечения дохода либо связанных с содержанием объектов налогообложения, выемки документов и предметов, а также изучения проверяющими документов налогоплательщика непосредственно на его территории [3]. Согласно ст. 89 НК РФ, налоговой проверкой могут быть охвачены только три календарных года деятельности налогоплательщика, плательщика сбора или налогового агента, непосредственно предшествовавшие году проведения проверки. По мнению Высшего арбитражного суда, указанная норма имеет своей целью установить давностные ограничения при определении налоговым органом периода прошлой деятельности налогоплательщика, который может быть охвачен проверкой [4].

2) *Порядок, форма и сроки истребования документов.* Ст. 31 НК РФ предоставляет право налоговым органам требовать от налогоплательщика пояснения и документы, подтверждающие правомерность исчисления и своевременность уплаты налогов.

Согласно п. 2 ст. 93 НК РФ, истребуемые документы представляются в виде заверенных копий, но в случае необходимости налоговый орган вправе ознакомиться с подлинниками. На практике налоговые органы свое право ознакомиться с подлинниками документами понимают расширительно – как право истребовать и забрать именно эти документы. А вот удастся ли их в дальнейшем вернуть – вопрос отдельный. Между тем документы могут потребоваться компании, например, чтобы подтвердить поставку в споре с контрагентом. Нередко налоговые инспекции отказываются возвращать документы на том основании, что Кодекс не регламентирует порядок и сроки возврата документов. Было бы логично вернуть документы после того, как налоговая инспекция вынесет решение по акту проверки. Такую позицию занимают и арбитражные суды. Но раз вопрос о возврате подлинных документов Кодексом не урегулирован, налоговые органы в возврате отказывают. В этом случае у плательщика есть два выхода: обжаловать бездействие должностных лиц налогового органа или обратиться в арбитражный суд с ходатайством об истребовании документов из налоговой инспекции. Очевидно, налогоплательщику следует быть настойчивее в защите своих интересов и подготовить убедительные доказательства того, что нарушены его права: он не может нормально вести свою деятельность, отстаивать свои интересы в споре с контрагентами и т. д.

3) *Привлечение налогоплательщика к ответственности*. По результатам проведения налоговой проверки налоговый орган может вынести решение о привлечении налогоплательщика к ответственности за совершенное им налоговое правонарушение. Однако у налоговиков зачастую или отсутствует доказательная база, или собрано недостаточно доказательств вины налогоплательщика, а привлечение к ответственности спровоцировано лишь желанием пополнить бюджет. Нередко негативные выводы проверяющих в отношении плательщика основываются на выборочных данных, причем объем выборки зависит от субъективной оценки налоговых органов. Несмотря на то, что в Налоговом кодексе вопрос о выборочной проверке вообще не рассматривается, ФНС не видит ничего предосудительного в использовании выборочного метода налогового контроля при больших объемах проверяемой документации. Действительно, как метод финансового контроля выборка вполне оправдана, но только если она правильно построена. Главное при проведении выборочного контроля – не переусердствовать. Если выбранный налоговым органом метод контроля привел к неправомерному доначислению налогов, налогоплательщику следует в апелляционном порядке обжаловать действия налоговой инспекции. Если вышестоящий налоговый орган не примет возражения налогоплательщика, ему остается единственный путь – обратиться в суд, имея при этом хорошие шансы выиграть дело. Некоторые арбитражные суды вообще считают, что при налоговых проверках нельзя использовать

метод выборки. И хотя Высший арбитражный суд в целом полагает, что выборочная проверка не нарушает прав налогоплательщика [5], он же признает, что, например, снять расходы по всем операциям с контрагентом, если в выборку попало всего несколько договоров, нельзя [6].

4) *Дополнительные и повторные проверки.* В соответствии с п. 2.2 ст. 140 НК РФ по итогам рассмотрения жалобы на акт налогового органа вышестоящий налоговый орган вправе отменить вынесенный акт и назначить дополнительную проверку. Налоговый орган также вправе провести повторную выездную проверку налогоплательщика в порядке контроля за деятельностью нижестоящего налогового органа, проводившего проверку первоначально. При этом вышестоящий орган не вправе требовать дополнительных документов от налогоплательщика, так как целью проведения повторной проверки является контроль за деятельностью нижестоящего налогового органа.

5) *Встречные проверки*. Ранее налоговый кодекс содержал такое понятие, позже из текста налогового кодекса этот термин исчез. Однако исчез лишь термин, но не сама проверка. Ст. 93.1 дает право должностным лицам налоговых органов истребовать документы, касающиеся деятельности проверяемой организации, у контрагента этой организации и у иных лиц, располагающих такими документами и информацией. Документы и информация о проверяемом налогоплательщике могут быть истребованы как в период камеральной и выездной проверки, так и при проведении дополнительных мероприятий налогового контроля при рассмотрении материалов налоговой проверки на основании решения руководителя (заместителя руководителя) налогового органа.

Если вне рамок налоговых проверок у налоговых органов возникает обоснованная необходимость получения документов (информации) относительно конкретной сделки, должностное лицо налогового органа вправе истребовать эти документы (информацию) у участников этой сделки или у иных лиц, располагающих документами (информацией) об этой сделке (с 30 июля 2013 г. – на основании Федерального закона от 28 июня 2013 г. № 134-ФЗ).

Внесенные изменения расширили полномочия налоговых органов при проведении встречных проверок, при этом смысл и сущность встречной проверки остались.

Встречные проверки у контрагентов проверяемых налогоплательщиков имеют целью выяснить реальность совершаемых операций и подлинность представленных налогоплательщиком документов. Кроме того, такие проверки могут проводиться в случаях, если у налоговых органов появятся основания предполагать, например, неоприходование товаров или выручки от реализации, неотражение на счетах бухгалтерского учета результатов товарообменных и иных операций, не предусматривающих оплату денежными средствами, а также при подозрении в применении налоговых схем. Может возникнуть необходимость проанализировать деятельность контрагентов проверяемого налогоплательщика и по прямым и косвенным признакам определить его добросовестность, установить факт регистрации партнеров налогоплательщика и т. д.

Практически на всех выездных проверках налоговые органы проводят встречные проверки контрагентов, чтобы убедиться в реальности сделок. При этом в первую очередь проверяют поставщиков, с которыми у проверяемой компании были разовые сделки. По мнению арбитражных судей, при проведении камеральной или выездной налоговой проверки налогоплательщика инспекция вправе истребовать документы у третьих лиц, но только в рамках проведения в отношении этих третьих лиц встречной налоговой проверки.

Если контрагент откажется представить документы, или поставщик к моменту проверки перестанет существовать, скорее всего, налоговики посчитают полученную налоговую выгоду необоснованной и снимут расходы из налоговой базы по налогу на прибыль и вычеты по НДС. Однако, по мнению судей, от-

сутствие подтверждения от контрагента еще не доказывает нереальности сделок [7].

6) *Время и объем проверок.* Не менее важный вопрос заключается в таком осуществлении налогового контроля – по времени и объему, – при котором не нарушается нормальный ритм финансово-хозяйственной деятельности организации. В основе решения этого вопроса должно быть понимание, на каких этапах деятельности организации происходит формирование налогового бремени.

Заключение

Предлагая в качестве обязательных объектов налогового контроля операционный и финансовый цикл организации, мы считаем, что, как минимум, время проверки должно определяться по окончании таких циклов. Оценка налоговыми органами операционных и финансовых циклов, в частности, может дать существенные данные о фактах сокрытия хозяйственного оборота или фактах декларирования фиктивных хозяйственных оборотов.

Библиографический список

1. **Основные** направления налоговой политики на 2014 плановый период 2015–2016 годов.

2. **Методология** налогового контроля : учеб. пособие / Е. А. Федоров, Л. Г. Баранова, В. С. Федорова. – Санкт-Петербург : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2013. – 87 с.

3. **Постановление** Конституционного суда РФ от 16 июля 2004 г. по делу № 14-П.

4. **Постановление** Пленума ВАС от 28 февраля 2001 г. № 5.

5. **Решение** ВАС от 11 июня 2010 г. № ВАС-5180/10.

6. **Постановление** Президиума ВАС от 22 декабря 2009 г. № ВАС-11175/09.

7. **Постановления** ФАС Московского округа от 19 марта 2010 г. № КА-А40/2333-10, от 9 апреля 2010 г. № КА-А40/3198-10.

УДК 65:69.003

В. В. Чепель
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТРАХОВАНИЯ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ

Статья посвящена экономической эффективности транспортного строительства в условиях перехода субъектов предпринимательской или профессиональной деятельности на саморегулирование. Рассматриваются критерии и методы оценки экономической эффективности с учетом обеспечения имущественной ответственности и распределения риска в интересах транспортных предприятий и организаций. На примере выполнен и проанализирован расчет экономической эффективности при различных условиях обеспечения ответственности.

транспортное строительство, саморегулирование, имущественная ответственность, экономическая эффективность, стоимость организации, риск.

Введение

Актуальность вопросов, рассмотренных в представленной статье, обусловлена принятием Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г. [1], необходимостью повышения экономической эффективности транспортного строительства и реконструкции объектов транспортной инфраструктуры, переходом транспортного строительства на саморегулирование, а также развитием системы страхования ответственности и рисков при осуществлении закупок товаров, работ, услуг для нужд транспортных предприятий и организаций.

В соответствии с Федеральным законом о саморегулируемых организациях (СРО) в редакции от 7 июня 2013 г. [2], есть два варианта обеспечения имущественной ответственности членов СРО: создание системы личного и (или) коллективного страхования; формирование компенсационного фонда саморегулируемых организаций.

Страхование ответственности становится наиболее эффективным и востребованным способом обеспечения ответственности лиц, осуществляющих предпринимательскую деятельность в строительстве. Например, большинство зарегистрированных СРО в строительной сфере наряду с формированием компенсационных фондов требуют от своих членов обеспечить страховую защиту их гражданской ответственности.

Но в то же время основным регулятивным элементом института СРО для всех видов предпринимательской и профессиональной деятельности в рамках базового закона о саморегулируемых организациях является механизм ответственности членов СРО в объеме средств компенсационного фонда. При этом не установлено влияние количества и содержания работ, осуществляемых членом СРО, на размер его взноса в компенсационный фонд.

В транспортном строительстве ситуация с повышением ответственности подрядчика схожа. Предприятия транспортного строительства все вступили в СРО, но при этом продолжают страховать ответственность дополнительно, причем зачастую по требованию заказчика.

С 1 июля 2013 г. вступила в силу новая редакция ст. 60 Градостроительного кодекса РФ, в соответствии с которой субсидиарная ответственность СРО в строительстве по обязательствам своих членов, возникающим вследствие причинения ущерба третьим лицам, заменена на солидарную [3].

При солидарной ответственности СРО потерпевший имеет возможность, минуя другие субъекты саморегулирования, напрямую обращаться в саморегулируемую организацию с требованием о взыскании суммы компенсации причиненного вреда. Соответственно, результатом введения солидарной ответственности становится возможность доступа к компенсационному фонду СРО. В то время как субсидиарная ответственность предусматривает обращение к компенсационному фонду исключительно в тех случаях, когда у отвечающего, в первую очередь, непосредственного виновника недостаточно собственного имущества и страховки для покрытия ущерба.

Таким образом, видна тенденция повышения ответственности саморегулируемых организаций по обязательствам членов СРО перед потребителями производимых ими товаров, работ, услуг. Становится ясным, что простого введения солидарной ответственности недостаточно, этому, в первую очередь, должны предшествовать шаги, направленные на законодательное обеспечение участия саморегулируемых организаций в профессиональной деятельности своих членов.

1 Развитие метода Хаустона для оценки экономической эффективности транспортного строительства в условиях саморегулирования

Содержанием деятельности СРО являются разработка и утверждение документов, предусмотренных ст. 55.5 Градостроительного ко-

декса РФ, а также контроль над соблюдением членами саморегулируемой организации требований этих документов [3].

Сравнительная оценка экономической эффективности страхования и самострахования основывается на методе Хаустона, суть которого заключается в оценке влияния различных способов управления риском на «стоимость организации» [4], которая определяется через стоимость ее свободных (чистых) активов. Свободные (чистые) активы организации – это разность между стоимостью всех ее активов и обязательств.

Так, в случае заключения договора страхования организация уплачивает страховщику в начале периода или в сроки, предусмотренные договором, страховые взносы в размере страховой премии и обеспечивает в будущем возможность возмещения ущерба или убытков в размере, не превышающем установленную договором страховую сумму. Стоимость организации в конце расчетного периода C_s при страховании имущественной ответственности определяется в виде

$$C_s = C_o - P + d_a\left(C_o - P\right), \qquad (1)$$

где C_o – стоимость организации в начале расчетного периода; P – размер страховой премии (страховых взносов); d_a – средняя доходность свободных (чистых) активов организации (определяется как отношение чистой прибыли к величине активов).

В случае самострахования организация формирует специальный резервный фонд (фонд риска), при этом стоимость организации C_r определяется в виде

$$C_r = C_o - U + d_a(C_o - U - F) + d_f F\,, \quad (2)$$

где U – ожидаемые потери в случае материализации риска; F – размер формируемого резервного фонда; d_f – средняя доходность активов резервного фонда (определяется как средний процент по депозитам).

При самостраховании организация терпит два вида убытков: прямые и косвенные, при этом прямые убытки выражаются в виде ожидаемых потерь U. Определенные средства должны быть направлены также в резервный фонд F, чтобы обеспечить компенсацию ожидаемых потерь, причем с некоторым запасом. Активы, используемые для формирования резервного фонда, размещаются с более высокой ликвидностью и приносят меньший доход, чем активы, направляемые на развитие производства.

Выбор способа управления риском осуществляется на основе критерия сравнительной экономической эффективности страхования и самострахования в виде

$$C_s > C_r. \qquad (3)$$

Если неравенство (3) выполняется, более эффективным оказывается страхование риска, в противном случае – формирование резервного фонда организации.

Несмотря на универсальность и широкое применение в мировой практике управления предпринимательскими рисками, метод Хаустона имеет и некоторые существенные недостатки:

1) теряется экономический смысл риска при различных способах управления риском, не приводится описание факторов риска и не производится его экономическая оценка;

2) не позволяет оценивать риск возникновения ущерба или убытков и возможность их покрытия в условиях саморегулирования, перераспределения имущественной ответственности и риска, а также моделировать денежные потоки во времени с учетом дисконтирования и инфляции;

3) задача оценки экономической эффективности страхования и самострахования решается в детерминированной постановке без учета количественных характеристик неопределенности и риска. Вместе с тем риск возникновения ущерба (убытков) имеет ярко выраженную стохастическую природу и характеризует неопределенность экономического (финансо-

вого) состояния организации в будущем с учетом неполноты, неточности или случайности данных.

Рассмотрим возможности развития метода Хаустона и разработки стохастических моделей оценки экономической эффективности транспортного строительства в условиях саморегулирования [5, 6].

В явном виде стоимость организации C_t в конце расчетного периода [0; t] может быть определена путем моделирования денежных потоков, затрат, результатов и эффектов с учетом дисконтирования и инфляции. Причем при любом способе обеспечения имущественной ответственности и (или) управления риском стоимость организации C_t будет иметь вид

$$C_t = C_o - \sum_{i=1}^{t} \alpha_i \varepsilon_i \ (U_i + Z_i - V_i) + \\ + d_a \sum_{i=1}^{t} \alpha_i \varepsilon_i (C_o - U_i - Z_i + V_i), \quad (4)$$

где C_o – стоимость организации в начале расчетного периода [0; t]; i = 1,.., t – шаг моделирования на интервале времени [0; t]; α_i – коэффициент дисконтирования, т. е. приведения к базисному моменту времени затрат, результатов и эффектов на i-м шаге моделирования; определяется как отношение суммы чистых активов на начало i-го периода к базисному; ε_i – коэффициент инфляции, характеризующий изменение цен в конце i-го шага по отношению к начальному моменту времени; $\varepsilon_i = 1 / G_i$, где G_i – базисный индекс инфляции; U_i – размер ожидаемого ущерба или убытков организации в случае материализации риска на i-м шаге моделирования; Z_i – затраты на риск-менеджмент, связанные с обеспечением имущественной ответственности на i-м шаге моделирования; V_i – размер ожидаемого возмещения ущерба или убытков, гарантированного принятым способом обеспечения имущественной ответственности на i-м шаге моделирования; d_a – средняя доходность свободных (чистых) активов организации.

Важным отличием предлагаемого подхода (4) от метода Хаустона является стоимостная оценка риска причинения вреда R вследствие возникновения ущерба или убытков с учетом размера такого ущерба (убытков), размера их возможного возмещения и принятых организацией мер по обеспечению имущественной ответственности и управлению риском:

$$R = U + Z - V. \quad (5)$$

Очевидно, что вред будет причинен, если объем принятых мер по обеспечению имущественной ответственности и размер фактического возмещения убытков или ущерба окажутся либо недостаточными для их полного возмещения либо несвоевременными по отношению к расчетному периоду t. Такое условие наступает при $R > 0$.

Горизонт расчета принимается в зависимости от постановки задачи с учетом возможного срока достижения ожидаемых результатов или эффектов, срока ввода объекта транспортной инфраструктуры в эксплуатацию, выполнения работ или полезного использования объекта. Стоимость организации определяется в текущих или прогнозных ценах.

Функциональными ограничениями модели (4) являются цели и ресурсы организации, условия и принципы обеспечения имущественной ответственности, а также условия формирования денежных потоков, эффектов, результатов и затрат в рассматриваемых сценариях управления риском.

Тогда в случае страхования ответственности и риска стоимость организации C_s в конце расчетного периода с учетом дисконтирования и инфляции получит вид

$$C_s = C_o - \sum_{i=1}^{t} \alpha_i \varepsilon_i \ (U_i + P_{s,i} - V_{s,i}) + \\ + d_a \sum_{i=1}^{t} \alpha_i \varepsilon_i (C_o - U_i - P_{s,i} + V_{s,i}), \quad (6)$$

где U_i – размер ожидаемого ущерба или убытков в случае материализации риска на i-м шаге расчета; в случае страхового риска принимается равным размеру страховой суммы S; $P_{s,i}$ – размер страховых взносов на i-м шаге расчета;

$\sum_i P_{s,i} = P_s$, где P_s – страховая премия по договору страхования; $V_{s,i}$ – размер страховой выплаты на *i*-м шаге расчета; в имущественном страховании – страховое возмещение ущерба, оплаченный страховой ущерб при наступлении страхового случая: $\sum_i V_{s,i} \le S$, где S – размер страховой суммы по договору страхования.

При использовании средств компенсационного фонда для возмещения ущерба или убытков вследствие недостатков работ стоимость организации C_k в конце расчетного периода с учетом дисконтирования и инфляции будет равна

$$C_k = C_o - \\ -\sum_{i=1}^{t} \alpha_i \varepsilon_i \ (U_i + V_{k,i} + V_{v,i} + V_{c,i} - F_{k,i}) + \\ + d_a \sum_{i=1}^{t} \alpha_i \varepsilon_i (C_o - U_i - V_{k,i} - V_{v,i} - V_{c,i}) + \\ + d_k \sum_{i=1}^{t} F_{k,i}, \quad (7)$$

где U_i – размер ожидаемого ущерба или убытков вследствие недостатков работ на *i*-м шаге расчета; $V_{k,i}$ – размер взносов в компенсационный фонд СРО на *i*-м шаге расчета; определяется в порядке и размере, которые установлены уставом СРО; $V_{v,i}$, $V_{c,i}$ – размер вступительных и регулярных членских взносов СРО, уплачиваемых на *i*-м шаге моделирования в соответствии с документами СРО; $F_{k,i}$ – размер выплат из средств компенсационного фонда СРО, предназначенных для возмещения ущерба или убытков вследствие недостатков работ на *i*-м шаге расчета; размер таких выплат зависит от максимальной стоимости работ по одному договору (контракту), выполняемых членами СРО, и не может превышать размер ожидаемого ущерба или убытков вследствие недостатков работ; d_k – средняя доходность активов компенсационного фонда СРО.

Выражение (7), очевидно, справедливо при наступлении солидарной ответственности СРО. В случае субсидиарной ответственности $F_{k,i} = 0$ и выплаты из компенсационного фонда СРО для возмещения ущерба или убытков производиться не будут, что подтверждается практикой обеспечения имущественной ответственности СРО. В этом случае цели СРО достигаются путем страхования ответственности и риска субъектом предпринимательской или профессиональной деятельности.

Анализ показал, что страхование ответственности и риска наряду с формированием и использованием средств компенсационного фонда на практике работать не будет, поскольку возмещение ущерба или убытков возможно либо в размере страховой выплаты в пределах страховой суммы, либо в размере суммы компенсации причиненного вреда в пределах средств компенсационного фонда. При этом консолидированные затраты организации на обеспечение имущественной ответственности оказываются значительно более высокими.

Для учета количественных характеристик неопределенности в моделях (6) и (7) могут использоваться разные подходы, отличающиеся способами описания данных, точностью и достоверностью получаемых оценок [7]:

1) проверка устойчивости результата оценки в наиболее вероятных и опасных условиях;

2) корректировка параметров проекта и применяемых экономических нормативов, замена их значений на ожидаемые значения с учетом неопределенности и риска;

3) вероятностная оценка экономической эффективности по статистическим данным, при этом значения показателей эффективности, установленные с учетом неопределенности и риска, рассматриваются как ожидаемые значения.

Неопределенность как неполнота, неточность или случайность данных порождает возможность наступления неблагоприятных ситуаций и последствий для всех или отдельных субъектов саморегулирования и характеризуется понятием риска.

В целях данной статьи риск рассматривается как неопределенность, которая порождает возможность причинения вреда транспортным организациям, потребителям транспортных

услуг вследствие недостатков работ, которые оказывают влияние на безопасность объектов транспортной инфраструктуры и выполняются членами СРО. Такой вред может быть причинен, если размер ущерба или убытков превышает размер их возможного возмещения или покрытия с использованием различных способов обеспечения имущественной ответственности и (или) управления риском.

Более сложной, но и более достоверной является вероятностная оценка экономической эффективности методом статистического моделирования Монте-Карло, который заключается в моделировании факторов неопределенности и риска с помощью последовательностей псевдослучайных чисел и в получении искомого распределения показателя эффективности по его важнейшим числовым характеристикам – математическому ожиданию и среднеквадратическому отклонению.

С помощью генератора псевдослучайных чисел с использованием заданных характеристик неопределенности случайных факторов (Mt; σ) последовательно генерируется возможный ущерб на шаге *i*, многократно моделируя случайные факторы, определяются значения стоимости чистых активов.

2 Методика оценки эффективности страхования ответственности

Методика оценки экономической эффективности транспортного строительства включает подготовку и описание исходных данных, функциональных и параметрических ограничений, построение схемы инвестиционной деятельности транспортных предприятий, построение динамической модели чистых активов предприятия, результатов и затрат, а также детерминированную и (или) распределенную оценку эффективности транспортного строительства с учетом формирования компенсационного фонда СРО и (или) страхования гражданской ответственности и рисков. Укрупненная блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.

На 1-м шаге алгоритма выполняются сбор и подготовка исходных данных, включая стоимость чистых активов предприятия на начало проекта, доходность чистых активов, размер страховой премии и страховых выплат, взносов в компенсационный фонд СРО и выплат из компенсационного фонда в случае причинения ущерба вследствие недостатка работ. Устанавливаются функциональные и параметрические ограничения модели оценки эффективности. Функциональные ограничения характеризуют условия материализации ответственности и рисков, параметрические ограничения указывают на границы изменчивости параметров модели.

На шаге 2 строится схема инвестиционной деятельности по проекту, на шаге 3 – модель чистых активов предприятия с учетом распределения ответственности и рисков по контракту.

Далее в зависимости от выполнения условия 4 осуществляется переход к детерминированной (шаг 5) или распределенной (шаг 6) оценке эффективности страхования ответственности и рисков. При этом расчет стоимости чистых активов производится с использованием модели (6) или (7) в зависимости от способа обеспечения ответственности.

Для распределенной оценки величины чистых активов методом Монте-Карло многократно генерируется случайная величина возможного ущерба вследствие недостатков работ, для чего используется датчик псевдослучайных чисел. Решением задачи является математическое ожидание чистых активов M_s, а среднеквадратическое отклонение σ_s используется в качестве характеристики неопределенности и риска:

$$M_S = \Sigma_{i=1}^{N} S_i \cdot p_i; \qquad (8)$$

$$\sigma_S = \sqrt{\Sigma_{i=1}^{N} p_i \cdot (S_i - M_S)^2}. \qquad (9)$$

Величина погрешности при заданном количестве реализаций N равна

$$d_p = \frac{1}{\sqrt{N}} \cdot M_S. \qquad (10)$$

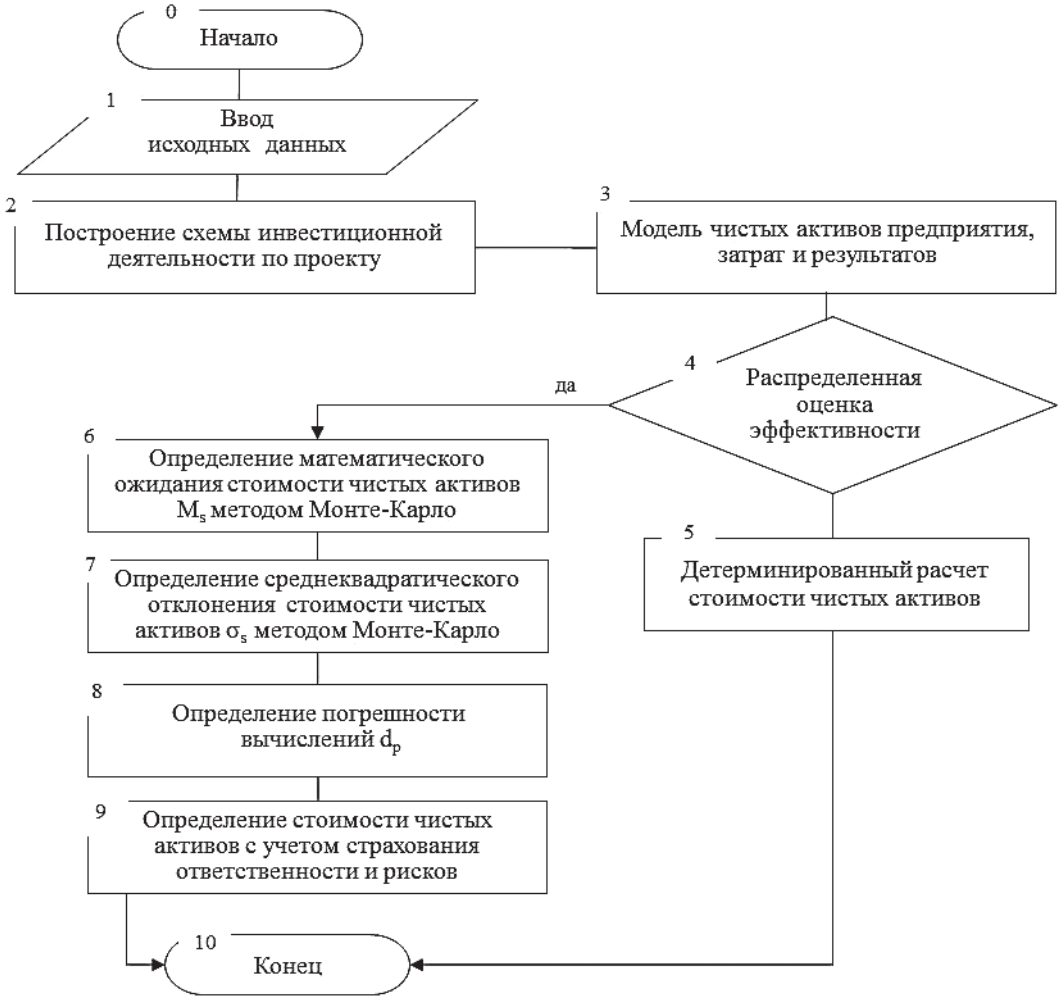


Рис. 1. Блок-схема алгоритма оценки эффективности транспортного строительства с учетом страхования ответственности и рисков

Если полученная при расчете погрешность (в месяцах) превышает требуемую величину погрешности ($dp > d$), то следует увеличить количество реализаций:

$$N = \left(\frac{M_S}{d} \right)^2 . \qquad (11)$$

3 Пример расчета

Для обоснования работоспособности методики, точности и достоверности получаемых результатов выполнена оценка экономической эффективности транспортного строительства по критерию чистых активов на примере саморегулируемой организации – некоммерческого партнерства «Объединение строителей подземных сооружений, промышленных и гражданских объектов». При проведении вычислительного эксперимента использовались данные по проекту «Строительство наклонного хода станции метро „Адмиралтейская“» (табл. 1). Сроки строительства – декабрь 2009 г. – январь 2012 г. Технический заказчик проекта – ГУП «Петербургский метрополитен», генподрядчик – ОАО «Метрострой». Общая стоимость проекта сооружения наклонного хода станции метро «Адмиралтейская» в договорных ценах 2000 г. составляет 269 864 232 руб. ОАО «Метрострой» является членом некоммерческого

ТАБЛИЦА 1. Исходные данные по проекту строительства наклонного хода станции метро «Адмиралтейская»

Показатель	2010 г.	2011 г.
Стоимость чистых активов на начало периода, тыс. руб.	10 023 562	
Размер страховой премии, тыс. руб.	70	96
Доходность, %	0,03	0,06
Размер вступительного взноса в СРО, тыс. руб.	50	
Годовой членский взнос, тыс. руб.	180	180
Взнос в компенсационный фонд СРО, тыс. руб.	3 000	3 000
Ставка дисконтирования	1,54	1,17
Размер страховой суммы, тыс. руб.	20 000	
Базисный индекс инфляции	1,0878	1,0610

партнерства «Объединение строителей подземных сооружений, промышленных и гражданских объектов».

С помощью моделей (6) и (7) произведен детерминированный расчет чистых активов ОАО «Метрострой» на конец расчетного периода при субсидиарной и солидарной ответственности, соответственно. При определении стоимости чистых активов рассмотрен случай, когда ущерб вследствие недостатков работ наступает в первый год строительства, а страховая сумма превышает размер ущерба и составляет 30 000 тыс. руб.

Тогда в случае субсидиарной ответственности и при условии страхования по формуле (6) получим

$$C_s = 19165563,080 \text{ тыс. руб.}$$

В случае солидарной ответственности, когда ущерб покрывается за счет средств компенсационного фонда СРО, по формуле (7) имеем

$$C_k = 19215532,069 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом $C_k > C_s$, что свидетельствует о целесообразности солидарной ответственности СРО.

Для получения распределенной оценки эффективности страхования использован специальный программный комплекс надстройки Excel «Метод Монте-Карло» (разработчики С. Е. Варюхин, С. Г. Зайцев) [8] (рис. 2). Случайной величиной является размер ущерба, которая задана функцией fmc_Uniform (A; B), возвращающей случайное число с равномерным распределением от A до B. В данной работе надстройка адаптирована для оценки эффективности страхования ответственности и рисков инвестиционного проекта и позволяет выполнить 10 тыс. реализаций стоимости чистых активов по фактору суммы возможного ущерба.

Результаты вероятностной оценки эффективности транспортного строительства с учетом страхования ответственности и рисков методом Монте-Карло на примере строительства станции метро «Адмиралтейская» представлены в табл. 2, графическая интерпретация результатов оценки – на рис. 3.

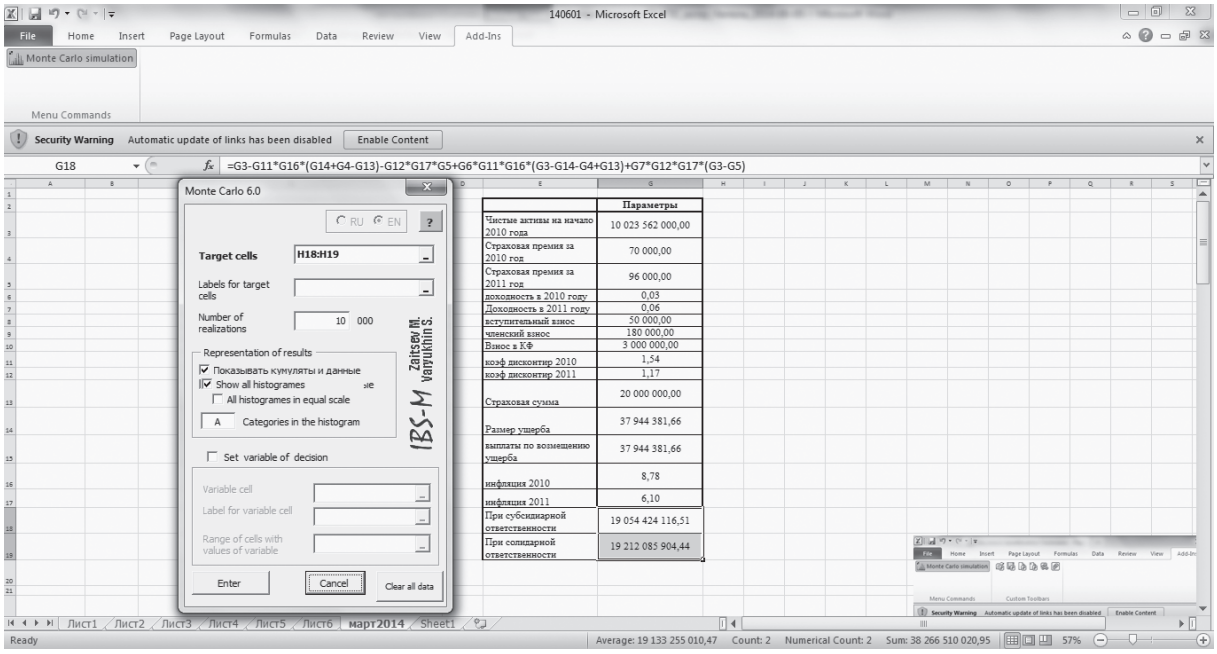


Рис. 2. Диалоговое окно надстройки Excel «Метод Монте-Карло»

ТАБЛИЦА 2. Результаты оценки эффективности транспортного строительства с учетом страхования ответственности и рисков

Показатель	Субсидиарная ответственность	Солидарная ответственность
Детерминированная оценка		
Стоимость чистых активов на конец периода, млн руб.	19166	19216
Вероятностная оценка		
Математическое ожидание стоимости чистых активов M_S, млн руб.	19095	19213
Среднеквадратическое отклонение σ_S, млн руб.	120,87	3,75

Заключение

Таким образом, оценка экономической эффективности в условиях перехода к солидарной ответственности саморегулируемых организаций, формирования компенсационного фонда, страхования гражданской ответственности и рисков является актуальной научной и практической задачей экономики транспортного строительства.

Предложена методика и распределенной оценки эффективности страхования ответственности, и рисков по критерию чистых активов предприятия с учетом возможной материализации ущерба вследствие недостатков работ.

Проведен вычислительный эксперимент на примере строительства наклонного хода станции метро «Адмиралтейская» в г. Санкт-Петербурге, который показал хорошую рабо-

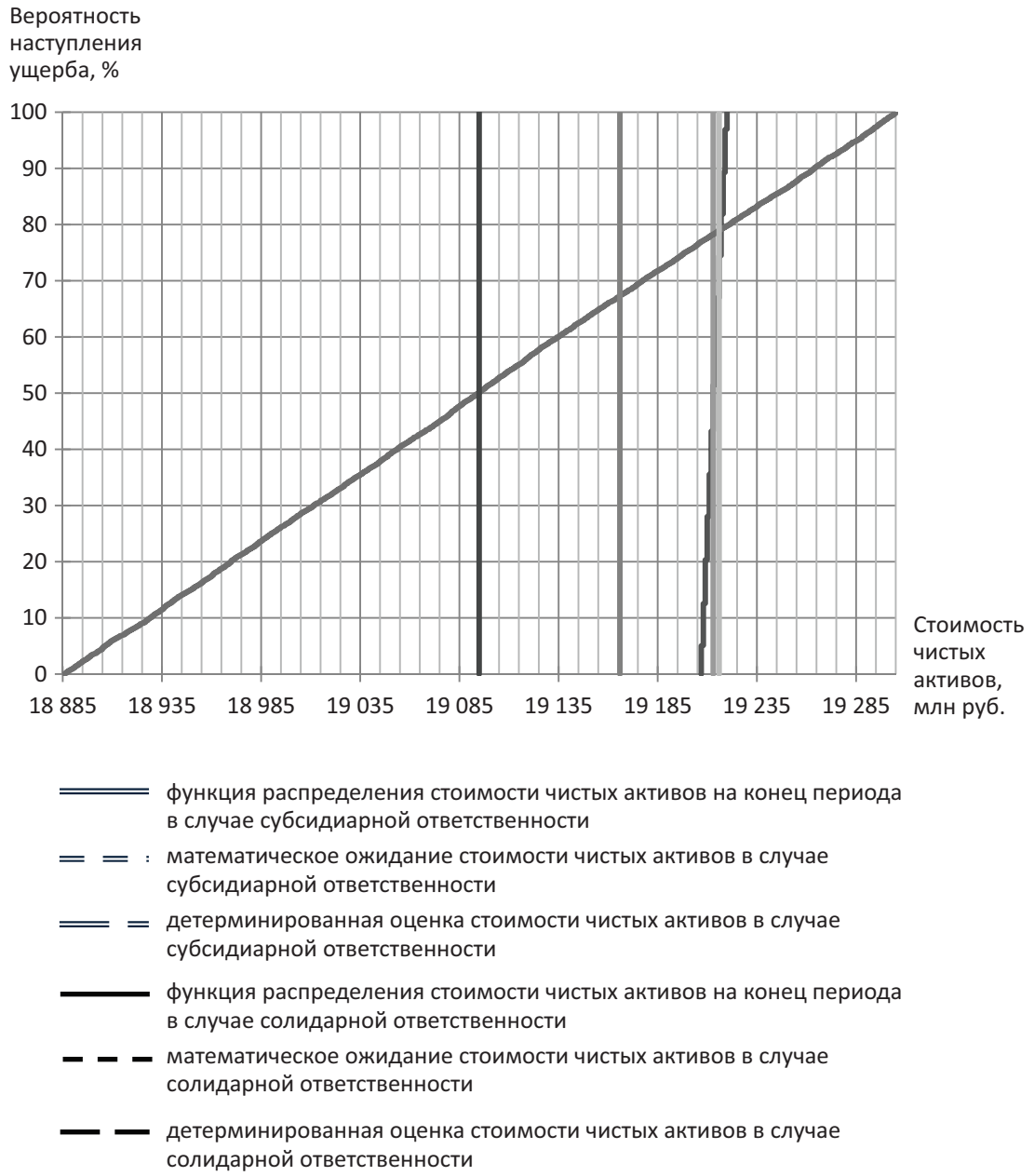


Рис. 3. Функция распределения стоимости чистых активов предприятия в случаях субсидиарной и солидарной ответственности

тоспособность методики, точность и достоверность получаемых результатов.

Изложенные в статье методические положения могут быть использованы при разработке Стандарта СРО по экономике, регламентирующего порядок формирования, обращения и использования средств компенсационного фонда СРО.

Библиографический список

1. **Транспортная** стратегия Российской Федерации на период до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734-р).

2. **Федеральный** закон РФ от 1 декабря 2007 г. № 315-ФЗ «О саморегулируемых организаци-

ях» (с изм. и доп., вступившими в силу с 7 июня 2013 г.).

3. **Градостроительный** кодекс Российской Федерации от 19 декабря 2004 г. № 190-ФЗ (ред. от 2 июля 2013 г.).

4. **Управление** рисками в России [Электронный ресурс]. – URL : http://www.risk-manage.ru/.

5. **Проблемы** экономики и управления предприятиями, отраслями, комплексами : кн. 6 / М. Е. Барсукова, Н. Г. Белокопытова, В. О. Боос и др. (всего 24 автора). – Новосибирск : ЦРНС, 2009. – 345 с.

6. **Развитие** теоретических основ экономической эффективности транспортного строительства в условиях саморегулирования / С. Г. Опарин, В. В. Чепель // Науч.-технич. ведомости СПбГТУ. – 2014. – № 2 (192). – С. 21–30. – (Экономические науки).

7. **Статистическое** моделирование с применением интегральных сверток чисел в оценке качества систем / С. Г. Опарин, Ю. И. Тетерин // Надежность и контроль качества. – 1991. – № 2. – С. 31–36.

8. **Количественные** методы в менеджменте [Электронный ресурс]. – URL : http://www.hcxl.ru/.

УДК 338.054.23

С. В. Юдин
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

К ВОПРОСУ УЧЕТА МЕРОПРИЯТИЙ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ОЦЕНКАХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Рассматриваются вопросы учета мероприятий пассивной безопасности в оценках экономической эффективности транспортного строительства в сфере дорожного хозяйства и дорожной деятельности. При этом анализируется проблема транспортной инфраструктуры, связанная с большими потерями народно-хозяйственного комплекса вследствие порчи грузов, повреждений транспортных средств, причинения вреда жизни и здоровью участникам движения от дорожно-транспортных происшествий. Приводятся методики учета ущерба до и после наступления дорожно-транспортного происшествия, анализируются достоинства и недостатки методов оценки инвестиционных проектов транспортного строительства.

транспортное строительство, пассивная безопасность, экономическая эффективность, дорожное ограждение, инвестиционный проект.

Введение

Современное транспортное строительство ориентировано на создание и развитие объектов транспортной инфраструктуры, включающей в себя дороги и их элементы (ограждения, дорожные столбики, опоры наружного освещения и т. д.). В настоящее время в транспортном строительстве есть проблемные ситуации, которые обусловлены недостаточным обеспечением пассивной безопасности движения на вновь создаваемых и на эксплуатируемых автомобильных дорогах. Задачу повышения пассивной безопасности дорожного движения следует считать одной из важнейших, требующей незамедлительного решения, так как общество несет не только большие материальные потери, но и невосполнимый ущерб от травматизма и гибели участников ДТП. В этих условиях особую актуальность приобретают вопросы

улучшения условий движения без привлечения значительных объемов капиталовложений, материалов, техники. Одним из эффективных путей решения этой проблемы является совершенствование нормативно-методической базы обустройства дорог и их элементов.

Актуальность данных вопросов подчеркивается в постановлении Правительства РФ от 3 октября 2013 г. № 864 «О федеральной целевой программе „Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 годах“». Среди целей и задач этой программы отмечается сокращение смертности от ДТП к 2020 г. на 8 тыс. чел. (28,82 %) по сравнению с 2012 г. В период реализации программы планируется проведение мероприятий по сокращению влияния наиболее весомых факторов, вызывающих аварийность на автомобильных дорогах, включая стимулирование федеральных, региональных и местных органов власти на снижение количества ДТП и их последствий. Общий объем финансирования в рамках данной программы составляет 32 422,872 млн руб., при этом 933,34 млн руб. выделяется на НИОКР.

Необходимость дальнейшего развития нормативно-методической базы по расчету элементов дороги обозначена в Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734-р. Задачи Стратегии предлагают стратегические ориентиры в решении проблем безопасности всей транспортной системы России, в то время как Программа направлена на тактическое решение одной из задач Стратегии – на повышение безопасности дорожного движения.

Характеристика транспортного строительства и проблемы в области организации дорожного движения

Объект транспортного строительства – это технологический комплекс входящих в него элементов: железнодорожных и автомобильных дорог, тоннелей, мостов, вокзалов, а также других сооружений, обеспечивающих их функционирование. Термин «транспортная инфраструктура» иногда используется и в более широком понимании. Поскольку транспортная сфера всегда увязывается с общим развитием производительных сил, она рассматривается как одна из важнейших составных частей инфраструктуры экономики в целом. При этом объекты транспортной инфраструктуры в оценках экономической эффективности следует рассматривать с учетом мероприятий пассивной безопасности, включающих в себя определение состава, технических показателей дорог, а также используемых материалов и технологий их отдельных элементов [1].

Под пассивной безопасностью автомобильных дорог подразумевают меры, направленные на снижение тяжести последствий ДТП, возникших при наезде на препятствия в полосе отвода дороги, а также при съезде транспортных средств с насыпи или пересечении разделительной полосы магистрали. Средства пассивной безопасности эффективны в тех случаях, когда водитель не в состоянии предотвратить происшествие, которое возникает из-за потери управляемости или устойчивости автомобиля, дестабилизации элементов транспортного средства, внезапных приступов болезни водителей, ослепления фарами встречного автомобиля в темное время суток [2]. При этом затраты на создание транспортной инфраструктуры всегда значительны. Следовательно, их необходимо учитывать в оценках экономической эффективности транспортного строительства.

Экономической эффективностью называется отношение социально-экономического эффекта к затраченным ресурсам. Метод оценки эффективности затрат и использования ресурсов заключается в сопоставлении результата производства и финансовых затрат или использованных ресурсов.

Существующие нормативно-методические издания и рекомендации оценки экономической эффективности инвестиционных проектов (ИП) недостаточно полно учитывают мероприятия пассивной безопасности. Так,

указания по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию автомобильных дорог ВСН 21-83 рекомендуют весь процесс обоснования инвестиций свести к определению коэффициента экономической эффективности путем сопоставления суммарной годовой величины экономического эффекта от использования автомобильной дороги с величиной капитальных вложений. При этом документ не содержит методических рекомендаций по оценке экономической эффективности с учетом мероприятий пассивной безопасности дорожного движения. Следует учитывать, что объекты транспортного строительства развиваются, появляются новые технологии, материалы, элементы дорог, сервисные предприятия, а также платные дороги.

Отечественные методики учета потерь народного хозяйства от ДТП (ВСН 3-69, ВСН 3-81) были основаны на принципах плановой экономики и соответствующих закономерностях роста национального дохода, поэтому заложенные в них закономерности и способы расчета требуют корректировки, соответствующей современным экономическим отношениям.

Методические рекомендации для оценки ИП от 21 июня 1999 г. (2-я редакция) № ВК 477 позволяют оценить экономическую эффективность для принятия инвесторами решения о вложениях [3]. Но в результатах ИП может быть заинтересован более широкий круг участников, ведь кроме самих инвесторов в реализации ИП задействуются опытно-конструкторские, проектные организации, заводы-изготовители [2]. Особенно ярко это проявляется при внедрении инновационных элементов дороги. При инновациях (нововведениях) период, в пределах которого происходят единовременные затраты и доходы, занимает больше времени, чем инвестиционный. Длительность данных проектов также не учитывается рекомендациями. Реализация нововведений своей конечной целью ставит достижение лучших эффектов или результатов при их сравнении с аналогами.

Методические указания для оценки ИП (3-я редакция), разработанные в 2008 г. на основе рекомендаций 2-й редакции, уточняют методику оценки ИП, но также недостаточны.

Балльная оценка эффективности ИП в редакции 2010 г. не позволяет принимать обоснованные решения в оценке учета экономической эффективности транспортного строительства, так как сам механизм методики не позволяет производить точный учет показателей применительно к стохастическим факторам современного дорожного хозяйства.

Характерно, что наряду с прогнозированием ущерба до наступления неблагоприятного события существует возможность оценки ущерба для перевозимых грузов, транспортных средств и участников движения после наступления ДТП,– например, методика оценки и расчета нормативов социально-экономического ущерба от ДТП в редакции 2001 г. Р 03112199-0502-00. Методика разработана в рамках реализации федеральной целевой программы министерства транспорта «Повышение безопасности дорожного движения в России». Она может быть использована для оценки эффективности мероприятий, при расчете денежного выражения потерь общества в результате гибели или ранения людей в дорожно-транспортных происшествиях.

Указанная методика учета социально-экономического ущерба в результате дорожно-транспортного происшествия рассматривает варианты ущерба в результате [4]:

- гибели и ранения людей;
- повреждения транспортных средств;
- порчи груза;
- повреждения дороги.

Общий ущерб ($П_о$) от ДТП с пострадавшими определяется по формуле

$$П_о = П_с + П_б + П_{инр} + П_{ир} + П_р + П_д, \quad (1)$$

где $П_с$ – потери, связанные с гибелью людей, имевших семью; $П_б$ – потери, связанные с гибелью людей без семьи; $П_{ипр}$ – потери, связанные с получением пострадавшими инвалидности, полностью лишившей их трудоспособ-

ности; $П_{ир}$ – потери, связанные с получением пострадавшими инвалидности, частично лишившей их трудоспособности; $П_{р}$ – потери, связанные с временной нетрудоспособностью; $П_{д}$ – потери, связанные с гибелью детей.

Ущерб в результате гибели и ранения людей составляет самую значительную часть ущерба от ДТП и включает в себя следующие социально-экономические параметры:

• экономические потери из-за выбытия человека из сферы производства;

• социально-экономические потери государства при выплате пенсий по инвалидности и по случаю потери кормильца, а также при оплате лечения в больницах и временной нетрудоспособности;

• социально-экономические потери из-за гибели детей.

Величина годового ущерба от повреждения автотранспортных средств и грузов рассчитывается по формуле

$$C_{\text{ущ}} = \sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{k=1}^{w}\sum_{l=1}^{z} C_{ikl} + \sum_{q=1}^{x} C_{iq} \right), \qquad (2)$$

где $C_{\text{ущ}}$ – величина годового ущерба от повреждения автотранспортных средств в дорожно-транспортном происшествии, руб.; n – количество поврежденных ТС; w – число видов поврежденных ТС; z – число видов составляющих потерь от повреждения ТС; x – число видов составляющих потерь от повреждения груза; C_{ikl} – величина ущерба владельца ТС от повреждения в ДТП i-го транспортного средства k-го вида по 1-й составляющей потерь, руб.; C_{iq} – величина ущерба владельца груза по q-му виду составляющей потерь груза при повреждении i-го числа ТС, руб.

Согласно ВСН 3-81, величину потерь от ДТП в оценках экономической эффективности можно рассчитать по формуле

$$Zt = 365\sum L \cdot Nt \cdot U \cdot m, \qquad (3)$$

где L – длина участка автомобильной дороги, км; Nt – интенсивность движения по автомобильной дороге; U – ущерб на 1 авт-км (табл. 4.1 ВСН 3-81); m – стоимостный коэффициент на дорожные условия (п. 3.2 ВСН 3-81).

Пример расчета эффективности участка строительства автомобильной дороги с учетом потерь в инвестиционном проекте

На примере строительства участка КАД «Первый участок кольцевой автомобильной дороги вокруг Санкт-Петербурга от ст. Горская до Приозерского шоссе» в работе оценена сравнительная экономическая эффективность применения алюминиевых опор освещения ООО «РОСА Восток», на которые имеется сертификат соответствия в области пассивной безопасности. Базой для сравнительной оценки приняты стальные опоры освещения СП ЗАО «Амира». Данные были предоставлены эксплуатирующей организацией ФКУ «ДСТО Санкт-Петербург» Федерального дорожного агентства (Росавтодор). Установлено, что потери от применения алюминиевых опор освещения снизятся на 109,720 млн руб. по сравнению с применением стальных аналогов [5].

Отсюда за 2014 г. размер потерь составит

$$Zt = 365 \cdot 23 \cdot 178\,182 \cdot 0{,}25 \times$$
$$\times (0{,}000023 \cdot 5) = 43\,005{,}339 \text{ млн руб.}$$

Прогнозируемые и фактические потери вследствие порчи грузов, повреждений транспортных средств, причинения вреда жизни и здоровью участникам движения от ДТП в оценках экономической эффективности необходимо учитывать для обоснования инвестиций в объекты транспортного строительства. Сравнительные характеристики основных методов оценки ИП приведены в таблице.

Из таблицы видно, что универсального метода оценки ИП объектов транспортного строительства не существует. У каждого имеются свои достоинства и недостатки. Решение о применении конкретного метода учитывается при проектировании автомобильных дорог и их элементов индивидуально. Это может за-

Методы оценки инвестиционных проектов с учетом неопределенности и риска

Метод	Краткое описание	Достоинства	Недостатки
Анализ чувствительности	Определение зависимости экономических показателей от изменения основных параметров проекта. Например, показывает процентное изменение NPV на однопроцентное изменение вводимой переменной	Объективная простота расчетов; наглядность	Изолированное рассмотрение отдельного фактора, хотя факторы коррелированы; много таблиц
Метод укрупненной оценки устойчивости	Основан на результатах расчетов коммерческой эффективности для основного (базисного) сценария реализации проекта путем анализа динамики потоков реальных денег. Эти потоки исчисляются по всем видам деятельности участника с учетом предоставления и погашения займов	Предусматривает резервы на непредвиденные расходы; увеличением нормы дисконта делает поправку на риск	В условиях неопределенности и случайности факторов существуют неточности в оценках рисков
Метод корректировки нормы дисконта	Приведение будущих денежных потоков к настоящему моменту времени, заключающееся в корректировке базовой нормы дисконта, которая считается безрисковой (допустимой). После прибавления величины требуемой премии за риск рассчитываются критерии эффективности ИП по полученной норме	Простота расчетов, понятность и доступность	Нет информации о степени риска; привязка к индексу дисконта, ограниченные возможности моделирования разных вариантов
Метод экспертных оценок	Сбор информации, ее анализ на основе логических математико-статистических методов и приемов с целью получения необходимой информации для подготовки рациональных решений. Заключение дается экспертом	Возможность применения при отсутствии информации; гибкость и возможность адаптации системы показателей к конкретному объекту	Сложность подбора необходимых экспертов. Субъективный и неточный характер оценок
Анализ сценариев	Построение сценариев развития событий и расчета основных показателей экономической эффективности проекта по каждому сценарию. При этом исследуется механизм реализации проекта, притоки, оттоки денежных средств, вычисляются обобщающие показатели эффективности	Учет одновременного влияния изменения факторов риска	Необходимость выполнения большого объема работ по отбору и аналитической обработке информации для каждого вида сценария; отсутствие вероятностной оценки, рассмотрение только нескольких вариантов

Окончание таблицы

Метод	Краткое описание	Достоинства	Недостатки
Метод статистического имитационного моделирования	На основе экспериментов используются модели, содержащие случайные величины; устанавливаются взаимосвязи между входными и выходными показателями	Проигрывание большого количества вариантов, высокая точность и обоснованность оценок вероятностей	Высокая чувствительность получаемого результата к законам распределения вероятностей
Метод интегральных сверток числовых последовательностей	Функциональный анализ на основе дисперсии или датчика чисел, показывающий «схожесть» одной функции с отраженной и сдвинутой копией другой. Свертки обобщаются для функций, распределенных в группах	Использование на входе доступных для сбора и учета реальных статистических данных и гистограмм; высокая достоверность оценки	Не имеется

висеть от параметров исследуемых участков дорог или их элементов, а также от особенностей, размера и длительности ИП. Исходными данными для расчетов служат проектные данные на определенные участки дорог и их элементы, а также материалы дорожных организаций и ГИБДД.

Заключение

Несмотря на благоприятные тенденции в работе отдельных видов транспорта, инвестиции в дорожную инфраструктуру не в полной мере отвечают существующим потребностям и перспективам развития. Экономическая оценка ущерба от ДТП необходима для принятия обоснованных инвестиционных решений в сфере безопасности дорожного движения. Знание размеров ущерба дает возможность объективно оценивать масштабы и значимость проблем дорожно-транспортной аварийности, определять объемы финансовых, материальных ресурсов, которые необходимо и целесообразно направлять на их решение, оценивать эффективность различных мероприятий и целевых программ, направленных на сокращение ДТП.

Цель рассматриваемого в статье исследования – анализ вопроса, связанного с обеспечением мероприятий пассивной безопасности дорожного движения в оценках экономической эффективности объектов транспортного строительства. Освещены актуальные проблемы дорожного хозяйства в этой области, приведены способы расчетов потерь при ДТП по пассивной безопасности в оценках экономической эффективности объектов транспортной инфраструктуры, представлены методики оценки ИП, приведен пример сравнительного анализа расчета потерь алюминиевых и стальных опор.

Безусловно, детальные оценки экономической эффективности с учетом мероприятий пассивной безопасности автомобильных дорог нужно исследовать и в дальнейшем. По мнению автора, в оценках экономической эффективности необходимо развивать методики учета потерь, связанных с отдельными элементами дорог (например, ограждений и опор), проводить их натурные испытания и краш-тесты. Перед серийным запуском в производство каждого нового элемента дороги, отличающегося от аналога конструктивными особенностями, применяемыми материалами и технологиями, детально сравнивать с имеющимися на рынке. Только при наличии конкурентных преимуществ (меньшие затраты на строительство, монтаж, стоимость

самих изделий, а также более низкие потери при ДТП) проектировать и строить объекты транспортной инфраструктуры. Данные мероприятия согласуются с постановлением Правительства РФ от 3 октября 2013 г. № 864 «О федеральной целевой программе „Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 годах“», где учитывается повышение социально-экономического эффекта, выраженного в снижении затрат на восстановление финансово-материальных ресурсов от ДТП, а также в уменьшении травматизма и гибели участников движения.

Библиографический список

1. **Оценка** эффективности инвестиционных проектов / П. Л. Виленский, В. Н. Лившиц, С. А. Смоляк ; АНХ при правительстве РФ. – Москва : Демо, 2004. – 888 с.

2. **Анализ** инновационной деятельности / С. А. Макаров, Е. В. Кошелев, С. Н. Яшин. – Санкт-Петербург, 2012. – 283 с.

3. **Методические** рекомендации для оценки эффективности инвестиционных проектов. – 2-я ред. 1999 г. – Москва, 2000. – 56 с.

4. **Р 03112199-0502–00.** Методика оценки и расчета нормативов социально-экономического ущерба от ДТП. – Москва, 2001. – 16 с.

5. **Отчет** по результатам оценки экономической эффективности применения в дорожном хозяйстве алюминиевых опор освещения ROSA серии SAL-90K и SAL-75 производства ООО «РОСА Восток» г. Смоленск / С. Г. Опарин, Р. Р. Инамов, Е. В. Есипова и др. ; шифр 176.03.12-ТЭО. – Санкт-Петербург, 2012. – 98 с.

ABSTRACTS

A. A. Adamova

Improvement of railroad transport competitive capability by decreasing the transport and logistics costs

Regretfully, today the railroad transport loses its share on the market of cargo transportation, giving way to other types of transportation. To go back to the previous results and for future development of railroad cargo transportation the participants of transport and logistics market should take decisive actions to create a competitive services and to attract the clients.

This article describes the problem causes, provides a brief analysis of transportation market and the transport and logistics costs, presents its development trends, and demonstrates the necessity of development of the new transport decision based on combinational transportation.

railroad transport, transport and logistics expenses, combinational transportation, logistic outsourcing.

Vl. A. Anisimov, M. V. Nechiporuk

Interaction model for railroad and sea transportation to improvement of multimodal transportation efficiency

The article brings as the subject of research the multimodal transportation hub (MTU). Scope of research was the technology of interaction for railroad and sea transports within MTU, considering the rational using of port stations and ports facilities. The aim was to determine the conditions of effective interaction for MTU objects. To solve the assigned tasks the research has a set-theoretical model of MTU and the processes of the hub. The research results in producing an important condition for assigned aim achievement – to provide the backup of turnover capacity of hub objects, that can be achieved by administrative and technical and reconstructive measures.

multimodal transportation hub (MTU), set-theoretical model of MTU objects, port stations, macroeconomical complex of the country, conditions of effective interaction for MTU objects.

E. I. Garlitsky

Selection criteria for advanced priority of freight end-face operation

In this article the interaction of industrial and major railroad transport is the target of research, and the shunting operation control of non-public railway lines (PNP) – the PNP shunting operation system – is the subject of research. The aim of this project is the adjustment of the selection criteria for advanced priority of freight end-face operation, considering financial and legal risks. To solve the indicated problems the aggregate systems theory was used. The result of this work is the selection criterion for advanced priority of freight end-face operation, that allows shunting operation of non-public railway lines with minimum operational costs.

non-public railway lines, connecting station, interaction, financial and legal risks, selection criteria, advanced priority.

E. K. Korovyakovsky, O. D. Pokrovskaya

Informal description of logistic center and its roles in mtk system

The article provides new definition of logistic center (LC) as a new spatial and

logistics institution, that delivers the whole set of transportation and logistics services to its clients. The LC is interpreted as a complex system of transport, production and consumers interaction, and is a basic function unit of international transport corridor (MTK) infrastructure. The article also shows the graphic multi-aspect sense of LC.

logistic center, terminal network,
logistics integrator, international transport corridor,
international transport corridor infrastructure.

Sh. Sh. Rizakulov

Main problems of organization of safety for train traffic at Uzbekistan railroads

The article reveals the questions of train traffic safety, regarding company's financial losses because of violations, provides the statistical analysis of traffic safety violations, and gives recommendations for improving the reliability of technical facilities and competence in providing the train traffic safety. The crucial role in providing the trouble-free operation of Uzbekistan railroads is improving the cooperation of enterprises from different industries and increasing the performance and efficiency of operating process, considering the traffic safety requirements.

train traffic safety, regional railroad hub, complex survey, system approach, objective assessment.

A. V. Andreev

Railway superstructure design influence on the life-cycle cost in different types of climate and operational conditions

There is a development of technique for selection the railway superstructure design for different climate and operational conditions, based on the life-cycle cost. To achieve that the article analyzes the change of technical state of railway track and failures of railway superstructure components depending on climate and operational conditions. The article provides the comparison of intermediate fastenings of different types and the analysis of operation and life-cycle cost aspects for railway design with different types of fastenings.

life-cycle, life-cycle cost, current maintenance of track, superstructure design, intermediate fastenings, URRAN.

M. S. Astrov, E. R. Zapretilina, O. A. Kovalchuk, I. Yu. Rodin, S. B. Fedotova

Superconducting technologies for creation the magnetic levitation transport system module

FGUP «Efremov's NIIEFA» has more than 50 years of experience for creation of superconducting magnets and devices. Among its well-known projects there are magnetic frames UNK, TSP, T-15, Globus-M, ITER, etc. In addition to conventional low-temperature superconductors today the VTSP technology is developing rapidly. NIIEFA possesses the technology and has all necessary experience for design, manufacturing and testing the superconducting coils (unified module) of magnetic levitation transport system.

superconducting magnet, UTS, SPIN,
VTSP volumes, magnetic levitation.

G. M. Groshev, A. R. Norboev

Justification of the technological reserve number of train locomotives at the stations of nature of supply change

The article describes the statistics researches, developing the statistical series of distribution of the trains arrival and departure value for DC and AC at the station of nature of supply

change «Svir'» of Oktyabrskaya railway. It also contains the calculations for fitting using gamma distribution of variation the number of arriving and departing trains for 90 days in different duration of periods (day, 6 hours, 4 hours).

The article describes the simulating modeling in Mathcad system, ver. 14.0.0.163, for determination of arrived and departured trains number for specified periods, the necessity of adding or departing reserve locomotives for each time period at both current types. It also contains the modeling results and the conclusions about its application for justification of the technological reserve number of train locomotives at the station.

nonuniformity, oddness of amount of train traffic, stations of nature of traction and supply change, train locomotives, technological reserve, value justification, statistical researches, distribution law, simulating modeling.

A. M. Evstafyev, A. P. Zelenchenko, V. M. Mishchenko

Improving the energy performance of regeneration braking for commuter Dc electric trains

The article provides the foundation of usefulness of increasing the regeneration braking speed range for commuter DC electric trains, that are equipped by the series-wound motors. It proves that the combination of conventional regeneration braking at high-speed range and impulsive regeneration braking at low-speed range allows to obtain the best pull and energy efficiency characteristics of braking system. The article also offers the algorithm of braking process management in case of realization of conventional and impulsive regeneration combination. It shows schematic decision, that allows to implement the suggested option of regeneration braking.

energy efficiency, regeneration braking, pulse transformer.

D. V. Efanov, A. A. Blyudov

Increasing the reliability of position sensors of railway points

The article describes the solving of the problem for increasing the reliability of operation of railway point position sensor (DST) in the microprocessors-based system of interlocking control MPC–MPK. It also describes the DST structure, its operational principles, as well as the safety measures for its functioning. The article provides the place of anti-noise coding in the process of obtaining an important checking information, and also presents the disadvantages of used type of coding. The article offers to use module-modified Berger code to eliminate the failures of remote points control. It proves the usefulness of choosing this coding option to operate in train traffic operation system.

traffic control at stations; MPC–MPK; railroad point; point sensor; sum code.

D. V. Zuev, F. N. Lovanov, S. V. Belousov, A. V. Belousov

Automated review of track-side assets circuits of railroad automatics and telemechanics

The article describes the automated review of track-side assets circuits of railroad automatics and telemechanics. The first section of the article describes the main subsystems and its functions, as well as structure diagram of automated system for circuit design review. Later there is a list of different types of technical documentation and examples of the most frequent errors in the projects. The last section has the major types of checks during the review of track-side assets circuits of railroad automatics and telemechanics.

automated review, track-side assets circuits, types of inspection.

I. G. Kiselev, M. Yu. Kudrin, V. P. Pryimin

Concerning the refrigerant medium for climatic unit of passenger rolling stock

The article describes the strength and shortcomings of changing the refrigerant medium type of climatic units of passenger rolling stock. Unlike used at present halocarbons, the next-generation substances have better environmental performance and in some case allow to improve the unit capacity, as well as to increase the temperature range for heat pump mode. The article also describes several refrigerant medium ranges that are suitable for transport application, as well as the main trends of international refrigeration industry, the principle of which is the tendency to cross over to natural refrigerant medium.

passenger rolling stock, railroad transport climatic units, conditioning system, refrigerant medium, global warming potential, ozone layer degradation potential.

Kh. R. Kosimov

Stress-strain state modeling for UZTE16M diesel-electric locomotive frames

Safe operation of the vehicle is determined by the residual strength of parts, units and structures. The article describes the modeling and analysis of stress-strain state of diesel electric locomotive frame. It presents the determination of maximum stresses in UzTE16M diesel electric locomotive frame section.

rolling stock, diesel electric locomotive frame, service life, load-bearing structures, strength.

V. A. Kudryavtsev, A. A. Svetashev

Process of carriage accumulating for train sets

The article describes important parameter daily average freight car-hour expenses for calculating the train formation schedule. It also describes the detail analysis of the process of carriage accumulating for train sets at the formation yard based on the averaged schedule of carriage accumulating. The article offers new formula for calculating the daily averaged freight-car-hours expenses. It presents the calculation and determination of statistically average examined. The article shows that the estimation of accumulating parameter should be based on the result of statistics data processing.

carriage accumulating parameter, remainder average value, rear group, incoming group, group of carriages, accumulating period, reight car-hour expenses.

M. Yu. Rozov, M. N. Zaks

Evaluation of structure of body frame extension for the subway carriage, series 81

The article gives the review and analysis of the present-day carriage body structures of Saint-Petersburg subway. It describes the current state of subway carriage bodies and measures, designed to prolong its service life. The article provides the technique for strength analysis of carriage body frame, using the finite element method. There are also the results of strength analysis of carriage body frame, as well as its analysis, that allows to choose the most useful version of the structure of body frame extension and to establish the reasonability of using the strengthen bracing pieces.

carriage body, subway, service life, bolster beams, center stills.

E. V. Sobolev, Al-Ruboy Mudar, E. A. Rubtsov

Estimation of coverage for air tracks of Republic of Iraq by VOR/DME beacon work areas

The coverage of the air tracks by the radio-technical means of navigation and it is the only way to provide the flight safety. Sufficient condition is a coverage of the air tracks by the work areas, that allows to provide the required accuracy and flight safety.

The article provides the calculation of coverage for selected tracks by the work areas of VOR/DME beacon that reveals significantly long sections of tracks, where the requirement for BC coordinated accuracy determination is not followed. It is recommended to implement additional navigation beacon. The calculation, made considering the recommendations, shows that in this case the length of uncovered section is less to 2.2–2.7 times depending on the flight altitude.

work area, VOR/DME, RNP, area navigation.

T. S. Titova, E. I. Makarova

Quality assessment of environmentally protected technologies of cleaning the contaminated metal surfaces of railroad transport

The article provides the assessment of the quality of technology for cleaning contaminated metal surfaces using detergents, that were developed within department «Chemical engineering and natural science» in comparison with well-known, now used for railroad transport detergents. The quality assessment of cleaning technology was made using PQ (property quality) indexes, as in this case, it is possible to analyze (by using certain mathematical operations) different aspects – such as environmental, technological and operational. The results obtained than summed up and the higher value of PQ indexes means the the higher quality of technological decision.

environmentally protected technologies, technology quality, surface cleaning, contamination, detergents, disposing of used detergents, environmental protection, railroad transport.

L. K. Babadzhanyants, I. Yu. Pototskaya, Yu. Yu. Pupysheva

Linear system management by fuel consumption

The article provides the methods for obtaining the optimum management as an explicit time function in settings, where it is necessary to damp one or several frequency components of solving an independent linear system. As a minimizing composed function «fuel consumption» is taken for the class of piecewise-constant management with fixed number of impulses. The theorems, provided in the article, allows to find the point of switching the management types either explicitly or using the numerical methods.

linear system management, optimum management by fuel consumption, piecewise-constant management.

G. I. Bogdanov

Field survey of component operation of bascule bridge framework main beam for the opening system at the rotational axis

The article describes the results of field surveys of opening system of bascule bridge framework, that are intended to examine the condition of the main beams at the rotational axis. It describes characteristic flows of structures of interests, such as cracks of welds for attachment of radial stiffener to the tube bushing at the rotational axis. The article provides the results of stress measuring at the radial stiffeners at the rotational axis.

bascule bridge, bascule bridge opening system, wing, rotational axes, stiffener, cracks, stresses.

O. I. Kopytenkova, O. T. Aliev

Analysis of modern automated training and educational complex for teaching the locomotive crew

The article presents examples of operational railway training simulators and results of its comparative analysis. Moreover, the module for the building up training simulators on the basis of problem and situational approach. For example, the simulators, that are oriented for specialist training with further gain in experience and skills. As the result, it might be noted that today the training system should include, besides the facilities for visual stimulation, also the sensing stimulation, that are basically form experience and skills to perform in certain situations.

railway training simulators, training systems, locomotive driver, multiplayer, interface, simulator, external factors, internal factors.

M. M. Lutsenko, N. V. Shadritseva

Cooperative and frequency approach for test task weight assignment

The article shows the comparison of judgmental and frequency methods of test task weight assignment with cooperative method, that was described in [1], [2]. There is a determination of Shapley weight for the tasks, and its values for the test «Indefinite and definite integral». The comparison is made based on the results of students tests in 2010–11. The article presents, that cooperative weights are a good indicator for assignment the task weight, when the course structure is known and there is time for acquisition its parts.

testing, task weight, cooperative games, Shapley vector.

E. D. Veselova, E. I. Rychkova, A. E. Stasishina, A. I. Norkina

Application of consolidated index of construction cost

The article describes the issues of using the consolidated indexes for estimation of real estate cost. The cases for using consolidated indexes are indicated. The article also gives a brief characteristics of consolidated indexes and the features of its application for estimation of real estate cost. The article shows the results of cost calculation for 3 real estate items and provides adequate conclusions.

estimated cost, assessed value, consolidated indexes, real estate assessment, indexation, estate tax.

P. V. Gerasimenko, G. B. Titov

Prediction the delivery time for railroad transport

The article offers the method for predicting the delivery time for railroad transportation of the cargo. In contrast with existing method of prediction, regression models lay on the base of this method. To develop the model a statistics for real delivery time and its correlation with the distance of cargo transportation, that was already done. The research made show that the prediction error for delivery time for railroad transportation by regulated data is about 40 %, with maximum is up to 55 %.

prediction, cargo delivery time, daily mileage rating, regression, interval estimate, probability.

B. N. Kustov, S. A. Kiryushkin, T. L. Stankevich

Concerning the automation of the audit process for loyalty service operators

Today in the Russian Federation the public key infrastructure services evaluation of compliance is provided without any means of automation. At this the human factor may be the reason of inaccuracy and bigger time expenditures. Also in RF there is no unified system of complex audit, that is necessary for evaluation the proper operation all components and public key infrastructure. The article provides an approach for service evaluation automation, as well as the list of main components, that should be audited within creation the system of complex audit. These developments allow to significantly decrease the time for certification tests, increase the system evaluation accuracy and to reveal the reasons of those or these errors.

complex audit, evaluation of compliance system, certification center, audit under WebTrust, Data Validation and Cerification Server (DVCS), certificate path validation.

E.A. Fedorov, L.G. Baranova, V.S. Fedorova

Tax management as a part of tax administration

The relations of organization and the state concerning the creation and using the taxation burden is expressed in interactions of this organization with public services. Within the scope of this research the interaction of organization and tax authorities during the tax administration. The tax administration is considered by the authors as the set of measures for realization the main task of tax authorities – to provide the receipt of tax payment into the budget to the extent that is necessary for financing the federal expenditure. To solve this problem it is necessary to have a well-adjusted and effectively acting organization of tax management.

taxes, tax authorities, tax management, organization tax burden.

V.V. Chepel

Economical efficiency of liability insurance for transport construction enterprises in case of self-regulation

This article describes economical efficiency of transport construction within the period of transfer to the self-regulation of the entities in its business and professional activity. It considers criteria and economical efficiency assessment methods, taking into account providing the property liability and risk distribution in favor of transport enterprises and organizations. There is an example of performing and analysis of economical efficiency calculation at different terms of liability.

transport construction, self-regulation, property liability, economical efficiency, organizational cost, risk.

S.V. Yudin

Concerning the question of event recording of passive safety of road traffic in transport construction

The article describes the issues of event recording for passive safety in road facilities and road activity. The article analyzes as well the problem of transport infrastructure, regarding to a big losses of national industrial complex because of damage to cargo, to transport vehicle, personal injuries of road users because of road traffic incidents. There is a list of methods for evaluation of damage before and after the road traffic incident occurrence, as well as the analysis of strengths and weaknesses of the methods for transport construction investment projects assessment.

transport construction, passive safety, economical efficiency, road fence, investment project.

АВТОРЫ СТАТЕЙ

Адамова Анастасия Александровна
аспирант кафедры «Экономика транспорта» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», nastuhaya@yandex.ru

Алиев Обиджон Туйчиевич
аспирант кафедры «Техносферная и экологическая безопасность» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Tashkent-AOT@mail.ru

Ал–Рубой Мудар Валхан Хамид
аспирант кафедры «Радиоэлектронные системы» ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации», mudher@mail.ru

Андреев Андрей Викторович
аспирант кафедры «Железнодорожный путь» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», oddman@bk.ru

Анисимов Владимир Александрович
доктор технических наук, доцент кафедры «Железнодорожный путь и проектирование железных дорог» ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», anisvl@mail.ru

Астров Михаил Сергеевич
старший научный сотрудник НТЦ «Синтез» НИИЭФА им. Д. В. Ефремова, astrov@sintez.niiefa.spb.su

Бабаджанянц Левон Константинович
доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Механика управляемого движения» ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет», levon@mail.wplus.net

Баранова Лариса Гурьевна
кандидат экономических наук, доцент кафедры «Бухгалтерский учет и аудит» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», lg-baranova@ya.ru

Белоусов Алексей Владимирович
инженер-программист ООО «ИМСАТ-ПРОЕКТ», A.Belousov.88@mail.ru

Белоусов Сергей Владимирович
инженер лаборатории «Функциональная диагностика» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», bsv992@gmail.com

Блюдов Антон Александрович
кандидат технических наук, ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», tosha_super@mail.ru

Богданов Геннадий Иванович
кандидат технических наук, профессор кафедры «Мосты» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», gibgdnv@rambler.ru

Веселова Екатерина Дмитриевна
менеджер коммерческого отдела ОАО «НИАИ «Источник», veselova-ed@yandex.ru

Гарлицкий Евгений Игоревич
аспирант кафедры «Технология транспортных процессов и логистика» ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», egarlitskiy@gmail.com

Герасименко Петр Васильевич
доктор технических наук, профессор кафедры «Математика и моделирование» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», pv39@mail.ru

Грошев Геннадий Максимович
доктор технических наук, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», spbgroshev@gmail.com

Евстафьев Андрей Михайлович
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электрическая тяга» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», evstam@mail.ru

Ефанов Дмитрий Викторович
кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения» Императора Александра I, TrES-4b@yandex.ru

Закс Марк Наумович
кандидат технических наук, старший научный сотрудник ОАО «НИИ вагоностроения», mnzaks32@yandex.ru

Запретилина Елена Руслановна
кандидат технических наук, начальник лаборатории НТЦ «Синтез» НИИЭФА им. Д. В. Ефремова, zapretilina@sintez.niiefa.spb.su

Зеленченко Алексей Петрович
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрическая тяга» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», zelenchenko.el_tyaga@mail.ru

Зуев Денис Владимирович
инженер лаборатории «Функциональная диагностика» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», zuevdv@gmail.com

Кирюшкин Сергей Анатольевич
кандидат технических наук, советник генерального директора ООО «Газинформсервис», Kiryushkin-S@gaz-is.ru

Киселев Игорь Георгиевич
доктор технических наук, профессор кафедры «Теплотехника и теплосиловые установки» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,

Ковальчук Олег Анатольевич
начальник лаборатории НТЦ «Синтез» НИИЭФА им. Д. В. Ефремова, kovalchuk@sintez.niiefa.spb.su

Копытенкова Ольга Ивановна
доктор медицинских наук, профессор кафедры «Техносферная и экологическая безопасность» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», 5726164@mail.ru

Коровяковский Евгений Константинович
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Логистика и коммерческая работа» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», ekorsky@mail.ru

Косимов Хусан Рахматуллаевич
аспирант кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», qosimov_husan@mail.ru

Кудрин Михаил Юрьевич
кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплотехника и теплосиловые установки» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», kudrin_mik@mail.ru

Кудрявцев Владимир Александрович
доктор технических наук, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», VAK333@mail.ru

Кустов Владимир Николаевич
доктор технических наук, профессор, генеральный директор ООО «УЦ Газинформсервис», Kustov-V@gaz-is.ru

Лобанов Филипп Николаевич
инженер лаборатории «Функциональная диагностика» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», 6373774@mail.ru

Луценко Михаил Михайлович
доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Математика и моделирование» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», ML4116@mail.ru

Макарова Елена Игоревна
доктор технических наук, профессор кафедры «Инженерная химия и естествознание», начальник отдела докторантуры и аспирантуры ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», aspirantura.pgups@mail.ru

Мищенко Вячеслав Михайлович
аспирант кафедры «Электрическая тяга» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», vyacheslav. m.m@yandex.ru

Нечипорук Марина Викторовна
старший преподаватель кафедры «Технология транспортных процессов и логистика» ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», MiranaForeverrr@mail.ru

Норбоев Азизжон Равшанович
аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», azabaza86@mail.ru

Норкина Анастасия Ильинична
инженер Октябрьской дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД», golden.nastea@yandex.ru

Покровская Оксана Дмитриевна
кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте» ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», insight1986@inbox.ru

Потоцкая Ирина Юрьевна
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Механика управляемого движения» ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет», irinapototskaya@yandex.ru

Приймин Вячеслав Павлович
аспирант кафедры «Теплотехника и теплосиловые установки» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», magistral116@gmail.com

Пупышева Юлия Юрьевна
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Высшая математика» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», j_poupycheva@mail.ru

Ризакулов Шерзод Шермуратович
аспирант кафедры
«Железнодорожные станции
и узлы» ФГБОУ ВПО «Петербургский
государственный университет
путей сообщения Императора
Александра I»,
sherzod_piter@mail.ru

Родин Игорь Юрьевич
кандидат технических наук,
начальник отдела НТЦ «Синтез»
НИИЭФА им. Д. В. Ефремова
rodin@sintez.niiefa.spb.su

Розов Максим Юрьевич
аспирант кафедры «Вагоны и вагонное
хозяйство» ФГБОУ ВПО «Петербургский
государственный университет путей
сообщения Императора Александра I»,
rozov_maxim@mail.ru

Рубцов Евгений Андреевич
аспирант кафедры «Электронные системы»
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский
государственный университет
гражданской авиации»,
rubtsov.spb.guga@rambler.ru

Рычкова Екатерина Игоревна
оператор ЭВМ Балтийской
дистанции пути ОАО «РЖД»,
homework1991@mail.ru

Светашев Александр Александрович
аспирант кафедры «Управление
эксплуатационной работой»
ФГБОУ ВПО «Петербургский
государственный университет путей
сообщения Императора Александра I»,
aleksandr-svetashev@bk.ru

Соболев Евгений Владимирович
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Радиоэлектронные
системы» ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский
государственный университет
гражданской авиации»,
sobolev061649@yandex.ru

Станкевич Татьяна Леонидовна
инженер ООО «Газинформсервис»,
аспирант кафедры «Информатика
и информационная безопасность»
ФГБОУ ВПО «Петербургский
государственный университет путей
сообщения Императора Александра I»,
Stankevich-T@gaz-is.ru

Стасишина Анастасия Евгеньевна
экономист ОАО «ФПК»,
stasishinanastya@gmail.com

Титов Глеб Борисович
кандидат экономических наук,
доцент кафедры «Экономика,
организация производства
и менеджмент» ФГБОУ ВПО «Московский
государственный университет путей
сообщения»

Титова Тамила Семеновна
доктор технических наук, профессор,
заведующая кафедрой «Техносферная
и экологическая безопасность»
ФГБОУ ВПО «Петербургский
государственный университет путей
сообщения Императора Александра I»,
5726164@mail.ru

Федоров Егор Александрович
кандидат экономических наук,
профессор, заведующий кафедрой
«Бухгалтерский учет и аудит» ФГБОУ ВПО
«Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I»,
eaf2005@yandex.ru

Федорова Валентина Сергеевна
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Бухгалтерский учет и аудит» ФГБОУ ВПО
«Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I»,
fedorova_vs@mail.ru

Федотова Светлана Борисовна
научный сотрудник НТЦ «Синтез» НИИЭФА
им. Д. В. Ефремова,
fedotova@sintez.niiefa.spb.su

Чепель Виктория Владимировна
аспирант кафедры «Экономика и менеджмент в строительстве» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», vchepel@gmail.com

Шадрицева Наталия Владимировна
аспирант кафедры «Математика и моделирование» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, shadrinceva@mail.ru

Юдин Сергей Вячеславович
аспирант кафедры «Экономика и менеджмент в строительстве» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», prior.spb@mail.ru

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Адамова А. А. **5**
Алиев О. Т. **143**
Ал-Рубой Мудар Валхан Хамид **111**
Андреев А. В. **36**
Анисимов Вл. А. **9**
Астров М. С. **40**
Бабаджанянц Л. К. **124**
Баранова Л. Г. **176**
Белоусов А. В. **78**
Белоусов С. В. **78**
Блюдов А. А. **69**
Богданов Г. И. **135**
Веселова Е. Д. **157**
Гарлицкий Е. И. **15**
Герасименко П. В. **162**
Грошев Г. М. **56**
Евстафьев А. М. **63**
Ефанов Д. В. **69**
Закс М. Н. **105**
Запретилина Е. Р. **40**
Зеленченко А. П. **63**
Зуев Д. В. **78**
Кирюшкин С. А. **169**
Киселев И. Г. **85**
Ковальчук О. А. **40**
Копытенкова О. И. **143**
Коровяковский Е. К. **22**
Косимов Х. Р. **90**
Кудрин М. Ю. **85**
Кудрявцев В. А. **98**
Кустов В. Н. **169**
Лобанов Ф. Н. **78**
Луценко М. М. **150**
Макарова Е. И. **117**
Мищенко В. М. **63**
Нечипорук М. В. **9**
Норбоев А. Р. **56**
Норкина А. И. **157**
Покровская О. Д. **22**
Потоцкая И. Ю. **124**
Приймин В. П. **85**
Пупышева Ю. Ю. **124**
Ризакулов Ш. Ш. **29**
Родин И. Ю. **40**
Розов М. В. **105**
Рубцов Е. А. **111**
Рычкова Е. И. **157**
Светашев А. А. **98**
Соболев Е. В. **111**
Станкевич Т. Л. **169**
Стасишина А. Е. **157**
Титов Г. Б. **162**
Титова Т. С. **117**
Федоров Е. А. **176**
Федорова В. С. **176**
Федотова С. Б. **40**
Чепель В. В. **182**
Шадрицева Н. В. **150**
Юдин С. В. **192**